

**MODELO DE ASEGURAMIENTO DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN
PETROLERA PARA LA LIQUIDACIÓN DE REGALÍAS EN COLOMBIA**

Presentado por:

Andrés Betancourt

José Rodríguez

Director

Manuel Figueredo



**Universidad de La Sabana
Facultad de Ingeniería
Trabajo de grado
2023-1**

CONTENIDO

CONTENIDO	2
SIGLAS Y ABREVIATURAS	4
RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO CONCEPTUAL	8
2.1 MARCO TEORICO	8
2.2 ESTADO DEL ARTE	14
3. OBJETIVOS	17
4. METODOLOGÍA	18
4.1 Descripción de actividades Objetivo Especifico 1	18
4.2 Descripción de actividades Objetivo Especifico 2	19
5. DESARROLLO METODOLOGICO	19
5.1 Desarrollo Objetivo específico 1 – OE1	19
5.2 Desarrollo Objetivo específico 2 – OE2	37
6. CONCLUSIONES	53
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	54
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
Anexo 1 – Muestra de Cuadro 4 entregado al sistema SOLAR de la ANH	56
Anexo 2 – Respuesta 1er Derecho de petición ANH marzo 2022	57
Anexo 3 – Respuesta 2do Derecho de petición ANH 4 mayo 2023	59
Anexo 4 – Respuesta 3er Derecho de petición ANH 16 mayo 2023	60

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1	Proyecciones de Ingresos al SGR 2021-2030	7
Figura 2	Cadena de valor de la industria petrolera	8
Figura 3	Ciclo de las Regalías, Departamento Nacional de Planeación 2021	10
Figura 4	Modelo de Microservicios	12
Figura 5	Esquema de tres bloques que forman un blockchain	13
Figura 6	Comportamiento de BC frente a los procesos de regalías convencionales..	16
Figura 7	Ciclo de las Tecnologías Digitales en Gobierno Fuente: (Gartner, 2021)	17
Figura 8	Proceso de control volumétrico y liquidación de regalías ANH.....	20
Figura 9	Actividades y Registros en el proceso de liquidación de regalías	21
Figura 10	Reclamaciones ANH x Regalías	22
Figura 11	Tipo de Reclamaciones x Regalías	23
Figura 12	Reliquidaciones respondidas x mes 2022-2021	23
Figura 13	Reliquidaciones x operadora 2020-2021	24
Figura 14	Modelo de Motivación de Negocio - Visión de arquitectura	25
Figura 15	Arquitectura Misional AS IS	26
Figura 16	Arquitectura Misional TO BE	27
Figura 17	AS IS Sistemas de Información	27
Figura 18	TO BE Sistemas de Información	29
Figura 19	AS IS Arquitectura de Tecnología – Modelo de flujo de datos	30
Figura 20	TO BE Arquitectura de Tecnología - – Modelo de flujo de datos	31
Figura 21	Liquidación de regalías, Agencia Nacional de Hidrocarburos 2020	39
Figura 22	Flujo Blockchain prueba de concepto	43
Figura 23	Diagrama de Clases en UML - Contrato inteligente Control de Regalías..	45
Figura 24	Imagen de Metatask	47
Figura 25	Consulta en Etherscan del contrato Inteligente registrado	49
Figura 26	Tiempo por consulta de Cuadros 4 (Segundos)	50
Figura 27	Tiempo total de la ejecución consulta de Cuadros 4 (Segundos)	50
Figura 28	Tiempo por calculo y comparación regalía (Segundos)	51
Figura 29	Tiempo ejecución de cálculo y validación regalía (Segundos)	51
Figura 30	Prueba de stress al BC.....	52

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	Siglas y Abreviaturas	4
Tabla 2	Aportes al presente proyecto	14
Tabla 3	Análisis de resultados de metodología Togaf.....	32
Tabla 4	Requerimientos funcionales	34
Tabla 5	Requerimientos NO funcionales	36
Tabla 6	Requerimientos funcionales de la prueba de concepto	37
Tabla 7	Indicadores de la prueba de concepto.....	40
Tabla 8	Estructura datos Operador	44
Tabla 9	Estructura datos ANH.....	44

Tabla 10 Estructura datos Contrato Inteligente	45
Tabla 11 Volumetría datos por Contrato.....	48

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Tabla 1 Siglas y Abreviaturas

Abreviaturas Siglas	/	Descripción
ADCO		Abu Dhabi Onshore Oil Operations Company
ADM		Architecture Development Method
ANH		Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANT		Agencia Nacional de Tierras
AVM		Avocet Volume Managment
BBL		Barril (petróleo)
BC		Blockchain
BPD		Barriles por día
CGR		Contraloría General de la República
CPF		Centro de Procesamiento de Fluido
DNP		Departamento Nacional de Planeación
IDP		Informe Diario de Producción
KPI		Key Performance Indicators
MinTIC		Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones
MME		Ministerio de Minas y Energía
O&G		Oil&Gas
PoC		Prueba de Concepto
SGR		Sistema General de Regalías
SOLAR		Sistema Oficial de Liquidación y Administración de Regalías
TOGAF		Theo Open Group Architecture Framework

RESUMEN

Las regalías petroleras son una contraprestación económica que recibe el estado como propietario del subsuelo por conceder el derecho a un tercero de explotar los hidrocarburos: En el caso colombiano, el sector minero- energético es el segundo renglón de la economía nacional, convirtiendo las regalías en un ingreso importante para las regiones (Contraloría general de la República de Colombia, 2021).

Para su determinación, intervienen variables como los volúmenes de producción, siendo esta la más sensible, dado que es realizada directamente por los operadores petroleros y reportada al estado. Sin embargo, en el reporte de los datos de producción existen mecanismos poco fiables como Excel o archivos planos abiertos que desde el punto de vista técnico generan incertidumbre al momento de liquidar las regalías.

Si bien las compañías petroleras están a la vanguardia en el uso de tecnologías de información, las entidades del Estado han empezado a abrirse camino en la transformación digital, buscando aumentar la eficiencia en sus procesos misionales y generar valor para todos los grupos de interés.

La propuesta del presente proyecto es diseñar un modelo de contratos inteligentes basado en microservicios y blockchain que sea rentable, confiable, seguro y a prueba de manipulaciones para lograr el correcto cálculo de las regalías, partiendo del aseguramiento de los datos de producción de los campos petroleros del país.

Palabras clave: regalías, ANH, aseguramiento de datos de producción, tecnologías 4.0, blockchain.

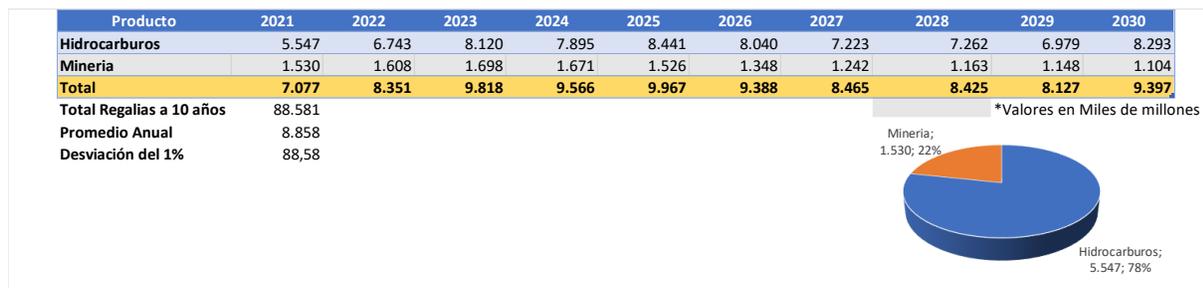
1. INTRODUCCIÓN

En algunos países, el Estado es propietario del subsuelo, mientras que en otros el subsuelo pertenece al propietario de la tierra. En cualquier caso, las compañías que extraen petróleo deben pagar al propietario del subsuelo una contraprestación económica (regalías) por la explotación de dicho recurso calculada con base en porcentajes establecidos previamente e información volumétrica de la explotación. Desafortunadamente, existe una asimetría de la información entre el Estado y los operadores, ya que estos últimos son los encargados de medir y reportar los volúmenes de producción para el cálculo de las regalías, y los mecanismos de aseguramiento de los datos por parte del Estado son poco efectivos. (Contraloría General de la República, 2014). Por lo tanto, se requiere un esquema confiable, seguro y rentable con riesgo mínimo de manipulaciones para ejecutar contratos de regalías en la industria Oil&Gas – O&G en Colombia.

Particularmente en el caso Colombia, es la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) quien realiza el proceso de fiscalización, liquidación y recaudo de las regalías provenientes de la explotación petrolera en el país. En este proceso las mediciones son un punto esencial, donde los operadores cuentan con exhaustivos controles para ello. Sin embargo, esta medición exhaustiva no es fiable. En Colombia, la mayoría de los campos utilizan la medición estática para la captura de los datos de producción, el cual es un procedimiento acorde con los estándares internacionales de la industria, pero considerado como uno de los menos exactos, ya que además de necesitar calibración adecuada de los equipos en campo, requiere también la aplicación de acciones manuales susceptibles al error humano. (Contraloría General de la República, 2014).

Para tener una idea del impacto de estas mediciones, se muestra en la Figura 1 Proyecciones de Ingresos al SGR 2021-2030 una proyección de ingresos del Sistema General de Regalías (SGR) entre el 2021 y el 2030. El SGR tendría ingresos anuales promedio de 8.858 billones de pesos, por lo que un error de un punto porcentual en la medición de los volúmenes de producción representaría al país pérdidas económicas del orden de 88 mil millones de pesos anuales en promedio. Con 88 mil millones de pesos el Estado colombiano puede invertir en la construcción y dotación de dos mega colegios, como el que se construyó en el 2022 en Leticia (Amazonas) con recursos del SGR.

Figura 1 Proyecciones de Ingresos al SGR 2021-2030



Nota: Proyección a 10 años ingresos por regalías (en miles de millones) y cálculo de perdías con 1% de inexactitud en medición.

(Datos Departamento Nacional de Planeación DNP, 2021). Nota: Elaboración propia

En lo que respecta a estudios oficiales de los entes de gobierno, un estudio de la Contraloría General de la República (Contraloría General de la República de Colombia, 2013) concluye que los procedimientos de medición de cantidad y calidad de hidrocarburos se ajustan a las normas internacionales de industria O&G. Sin embargo, actualmente se cuenta con tecnologías más precisas que permiten minimizar fallas en las mediciones. Por otro lado, también concluye que no se tiene evidencia que la autoridad de fiscalización cruce los datos de producción con los de transporte y refinación, y a su vez realice balances volumétricos teniendo en cuenta que la cadena de valor O&G es un sistema cerrado, donde se conoce los datos de producción, así como la destinación final del crudo (refinerías o exportación).

En un informe del 2021 la Contraloría General de la República evidenció inconsistencias en los registros documentales que reportan los datos de producción, concluyendo que existen deficiencias en el manejo de la información en los procesos de captura, almacenamiento y gestión de los archivos que soportan la producción, lo cual genera incertidumbre al momento de liquidar las regalías.

Considerando los puntos anteriores, es necesario contar con un modelo de aseguramiento basado en tecnologías de integración como “microservicios” y de certificación de transacciones como “blockchain” que permitan garantizar la integridad y veracidad de la información enviada por los operadores. Por ello se propone mecanismo que permita detectar las inconsistencias de los datos de producción reportados por los operadores de manera oportuna y eficiente, dado que esta es la variable más sensible para la adecuada liquidación de regalías.

2. MARCO CONCEPTUAL

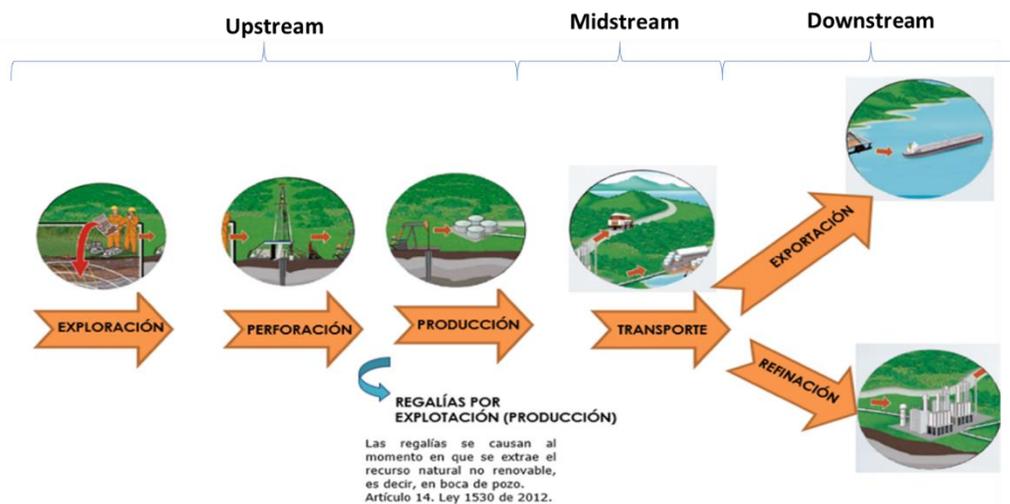
2.1 MARCO TEORICO

El presente documento se enfoca en dos conceptos fundamentales para su desarrollo: el proceso de la industria de hidrocarburos y el cálculo de regalías, junto con una breve descripción de los habilitadores tecnológicos propuestos para optimizar dicho proceso.

Proceso extracción de Hidrocarburos

En términos generales, el proceso de extracción de hidrocarburos se compone de exploración, perforación, producción, transporte y finalmente refinación y exportación, esto presentada gráficamente en la Figura 2 Cadena de valor de la industria petrolera. En dicho proceso, la ley establece que las regalías se deben causar en el momento que se extrae el hidrocarburo en superficie (es decir, en el eslabón de producción). Sin embargo, eso no sucede en la práctica, ya que del pozo salen fluidos adicionales del yacimiento (aceite, gas, agua, entre otros), los cuales deben ser retirados en un Centro de Procesamiento de Fluido (CPF), con el fin de obtener un crudo limpio para medición y comercialización.

Figura 2 Cadena de valor de la industria petrolera



*Nota: Cadena de valor de la industria petrolera Upstream (Exploración, perforación y producción) Midstream (Transporte) y Downstream (Refinación y Exportación)
(Contraloría general de la república de Colombia, 2020)*

Las regalías son una contraprestación que recibe el Estado por las compañías petroleras que explotan los hidrocarburos en el marco de los contratos de exploración y producción, los porcentajes de regalías están definidos en la ley y tienen destinación específica para financiar obras sociales en las regiones.

Sin embargo las regalías no son las únicas contraprestaciones que recibe el Estado por la explotación de hidrocarburos, está los derechos económicos, los cuales son participaciones económicas que tiene la ANH en el marco de los nuevos contratos de exploración y producción que empezaron a regir en el 2003 con su creación. Los derechos económicos pueden ser de diferentes tipos y quedan taxativamente definidos en los contratos:

Derechos económicos por uso del subsuelo: En fase exploración y en fase de producción.

Derecho económico como porcentaje de participación en la producción.

Derecho económico por precios altos

Derecho económico por transferencia de tecnología.

La ley siempre ha establecido que la ANH podrá realizar el recaudo de regalías en dinero o en especie, en las condiciones que esta determine bajo acto administrativo (Ley 2056 de 2020, art 10).

Luego para los campos y operadores que pagan regalías o algunos derechos económicos en especie la ANH tiene suscrito un contrato de compraventa de crudo con Ecopetrol para monetizar dichas contraprestaciones que se pagan en especie, es decir el operador debe realizar la nominación y entrega de crudo a Ecopetrol y este le realiza el respectivo pago en dinero a la ANH.

Como se mencionó anteriormente el alcance del proyecto son las regalías y específicamente las que se pagan en dinero, ya las regalías que se pagan en dinero representan los mayores ingresos por este concepto y para simplificar el modelo propuesto no se tomaron en cuenta las regalías que se pagan en especie

Ciclo de las regalías

Durante la producción de hidrocarburos se lleva a cabo el **ciclo de las regalías**, el cual está definido en la Ley 2056 de 2020 que establece el marco normativo que rige al Sistema General de Regalías – SGR, que para el caso particular de la ANH se describe a continuación:

Figura 3 Ciclo de las Regalías, Departamento Nacional de Planeación 2021



1. **Fiscalización:** Verificación de la producción en los campos petroleros. Esta labor está a cargo de la ANH.
2. **Liquidación:** Aplicación de las variables técnicas asociadas a la producción y las condiciones establecidas en la ley y los contratos para determinar el valor que deben pagar los operadores por concepto de regalías.
3. **Recaudo:** Recepción por parte de la ANH del dinero por concepto de regalías.
4. **Transferencia:** Giro de los recursos recaudados por parte de la ANH a la cuenta única del Sistema General de Regalías.
5. **Distribución:** Aplicación de los porcentajes establecidos en la Constitución y las asignaciones establecidas en la ley para proyectos de inversión, ahorro y administración del SGR; esta función está en cabeza del Departamento Nacional de Planeación-DNP y la ANH sólo se encarga de determinar las asignaciones directas correspondientes a las entidades territoriales productoras.

6. **Giro:** El Ministerio de Hacienda y Crédito Público-MHCP se encarga de hacer los giros a los destinatarios finales que ejecutan proyectos de inversión con las entidades designadas como ejecutoras de recursos de regalías.

Cabe resaltar que **el presente proyecto solo se centra en las dos primeras fases del ciclo de regalías:** la fiscalización de la producción y la liquidación de las regalías, en las cuales intervienen 2 actores claves:

1. Los operadores petroleros, los cuales son los encargados de la medición y reportar a la ANH de los datos de producción.
2. La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) como autoridad de fiscalización de hidrocarburos la cual debe verificar los reportes de producción para la adecuada liquidación de regalías.

Habilitadores tecnológicos propuestos

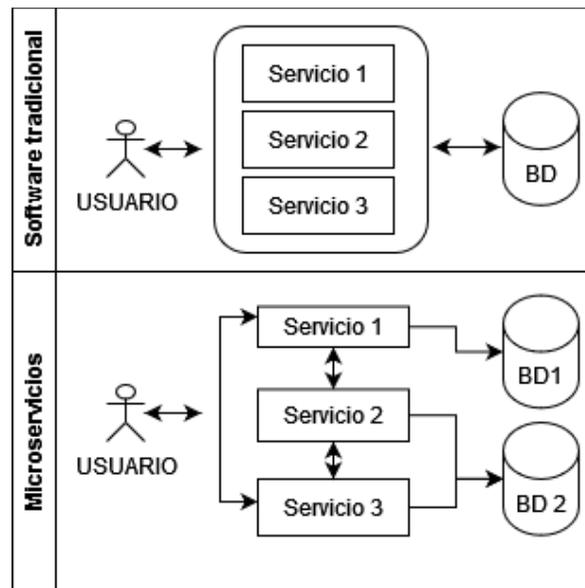
El presente proyecto tiene como objetivo mejorar el proceso actual de liquidación de regalías llevado a cabo por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), mediante la implementación de tecnologías de microservicios y contratos inteligentes en la cadena de bloques.

A continuación, se ofrecerá una descripción de estas tecnologías:

1. Microservicios

La construcción de software tradicional parte de un modelo donde todas las funcionalidades de una solución están unidos a un mismo programa/paquete; y por tanto tradicionalmente los temas de escalabilidad y evolución pueden resultar engorrosos. Esta situación es resuelta hoy en día con los Microservicios (Figura 4 Modelo de Microservicios), dado que los sistemas/módulos que compone un programa son concebidos de manera individual y sin dependencias entre ellos, por tanto, cada uno se ejecuta de manera independiente y autónoma pero siempre integrados entre ellos.

Figura 4 Modelo de Microservicios



Fuente: Elaboración propia – Software tradicional y Software con microservicios

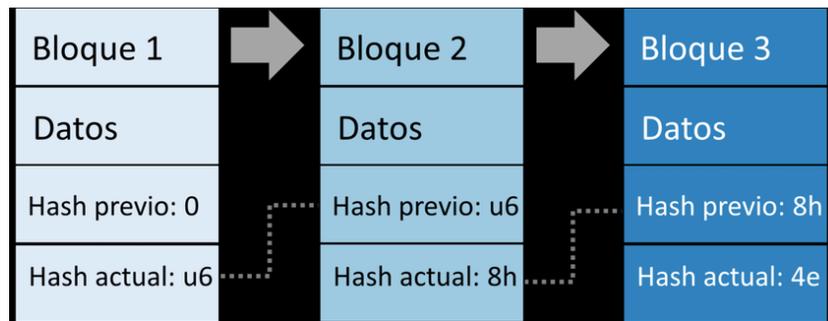
2. Blockchain

Blockchain es una tecnología que desde sus inicios buscaba encontrar una solución eficiente a los problemas de manipulación de la información procesada y garantizar su consistencia. Sin embargo, fue hasta el 2009 donde se comercializó con la llegada de la criptomoneda Bitcoin.

Puntualmente el blockchain (cadena de bloques), ha logrado solucionar el problema de confianza y la consistencia de la información de las bases de datos convencionales, dado que son varios actores los encargados de crear, modificar y compartir la data en consenso basado en una estructura de bloques relacionados entre ellos. Figura 5 Esquema de tres bloques que forman un blockchain.

Por otro lado, inicialmente fue concebido como una red de datos para asegurar y certificar transacciones de monedas virtuales, pero dada su evolución con la llegada de nuevas tecnologías como Ethereum, fue posible la inclusión de codificación, a partir de entonces, este modelo de almacenamiento, consenso y distribución de la información ha sido clave en la implementación exitosa en diferentes campos y sectores.

Figura 5 Esquema de tres bloques que forman un blockchain



Nota: bloques con datos, identificador del bloque e identificador de estado del bloque anterior.

Fuente: https://www.researchgate.net/publication/350850167_Aplicaciones_de_la_Tecnologia_Blockchain_en_el_Area_Forense

3. Contratos inteligentes

Los contratos inteligentes toman los términos y la información de los contratos jurídicos, esto con el fin de permitir el desarrollo de transacciones a través de códigos encriptados almacenados en la cadena de bloques, logrando consistencia de la información evitando modificaciones no autorizadas.

Los sistemas de contratos inteligentes funcionan con una premisa "si-entonces" (si sucede X, sucederá Y), por lo que cualquier condición esperada implica que se realiza una acción. (Guía de Referencia de Blockchain para la Adopción e Implementación de Proyectos en Colombia 2020).

Los contratos inteligentes tienen las siguientes ventajas:

- **Autonomía:** Es fácil firmar contratos o convenios con términos generales que están legalmente validados previamente.
- **Confianza:** la información es inmodificable al estar encriptada y autenticada por varios miembros de la cadena (mineros).
- **Seguridad:** Garantizada por encriptación y verificación de la misma información en múltiples bloques simultáneamente.
- **Rapidez:** Ejecutado de forma automática, sin intervención de terceros ni humana, y con inmediatez.
- **Ahorro:** Se reducen costos en el pago de terceros con rol de auditoría.
- **Precisión:** El contrato inteligente ejecuta exactamente las condiciones pactadas sin intervención humana.

- Backup: La información no se pierde porque se almacena en varios bloques diferentes.

2.2 ESTADO DEL ARTE

Diversas aproximaciones tanto académicas como legales han tratado el tema del presente proyecto. La Tabla 2 presenta un consolidado de los principales aportes encontrados que ofrecen soluciones a problemas de esta índole.

Tabla 2 Aportes al presente proyecto

Autor	Año	Objetivo	Aporte	Debilidades
Akoum & Mahjoub, (2013)	2013	La petrolera turca ADCO presenta un marco de referencia para desarrollar su programa de inteligencia empresarial basado en tecnologías de la información.	Presenta un marco de referencia de arquitectura para proyectos de Inteligencia de Negocios, integrando diversas arquitecturas y refinándose a través de lecciones aprendidas y casos reales implementados.	Se parte como premisa que los datos cuentan con la integridad y fiabilidad necesaria.
Contraloría General de la República, Colombia (2014)	2014	Informe de auditoría sobre la integridad y la transparencia de los procesos de medición de la producción de hidrocarburos y de cálculo y pagos de las participaciones gubernamentales en Colombia	La Contraloría encontró que la Agencia Nacional de Hidrocarburos no cuenta con un sistema de información que le permita contrastar la información reportada por las operadoras y que se deben implementar mejores procedimientos de medición para reducir la incertidumbre del dato de producción.	El informe presenta debilidades que tiene el Estado para la fiscalización de la producción para la adecuada liquidación de regalías.
Ministerio de Minas y Energía, Colombia (2016)	2016	La Resolución 41256 del 2016 reglamenta la medición del volumen y la determinación de la calidad de los hidrocarburos para la adecuada liquidación de regalías.	Establece un marco normativo para la medición de calidad y cantidad de hidrocarburos en Colombia de acuerdo con los estándares internacionales de la industria petrolera.	NA
Garner (2019)	2019	Presenta el Hype Cycle de tecnologías de gobierno digital	Presenta las tendencias de las Tecnologías 4.0 en Gobiernos Digitales y sus tiempos de madurez de implantación.	No hay datos del 2020 y 2021

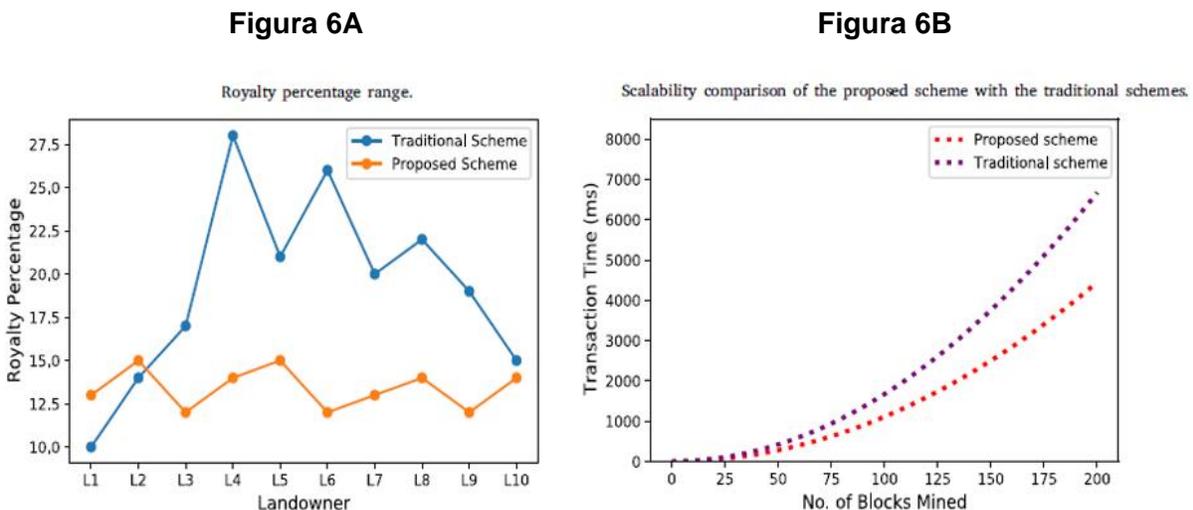
Ministerio de las Tecnologías de Información y Comunicaciones, Colombia (2020)	2020	Establece una guía con lineamientos generales para el uso de las tecnologías emergentes.	Orienta a las entidades públicas en el uso y adopción de las nuevas herramientas digitales que permiten crear servicios y habilitar procesos más eficientes y seguros.	Presenta lineamientos generales y carece de cifras y datos que permitan concluir la funcionalidad de cada tecnología.
Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Colombia (2020)	2020	Guía de referencia de BC para la adopción e implementación de proyectos en Colombia	Se presenta una guía de referencia importante para las implementaciones de BC en Colombia. Además, presenta proyectos e iniciativas en curso en nuestro país.	No se presenta una línea de tiempo de proyectos de BC en el gobierno. Solo se habla de iniciativas.
Javier Gelvis, Sebastián Prada, Claudia Cáceres, Hernán Mantilla (2021)	2021	Propuesta de arquitectura empresarial para el grupo de perforación de Ecopetrol ICP usando el marco de referencia TOGAF	Este documento muestra la aplicabilidad de TOGAF y su metodología ADM para la planeación estrategia en una institución como Ecopetrol	No se presentan resultados exitosos obtenidos solo se define concepción y priorización de proyectos.
Dhyey Mehta a, Sudeep Tanwar a, Umesh Bodkhe a & Kumar (2021)	2021	Propone un esquema de contrato inteligente basado en BC que permitiría ejecutar de manera segura las transacciones de regalías petroleras	Muestra como el sistema de BC es la tecnología más adecuada y segura en el escenario de transacciones de regalías en las industrias Oil&Gas.	No tiene en cuenta algunas limitaciones del BC como escalabilidad, privacidad y rentabilidad.

En la industria de Oil&GAs existen evidencias de los beneficios del Blockchain (BC). En un estudio realizado en Estados Unidos (Dhyey Mehta a, Sudeep Tanwar, Umesh Bodkhe, Arpit Shukla Kumar, 2021), se propone soportar las transacciones de regalías bajo un esquema de contratos inteligentes basados en BC, el cual es una herramienta segura y confiable para el manejo de este tipo de transacciones.

La Figura 6 – literal A, muestra la variación en las regalías calculadas a los propietarios de las tierras usando métodos tradicionales y BC. En el primer caso se observan valores máximos de 27.5%, en contraste con el segundo, el cual presenta valores estables entre 12% y 15% de variación.

Por otro lado, la misma figura literal B, evalúa el tiempo de respuesta de un número comparable de transacciones con y sin BC; se evidencia una reducción notable del tiempo a medida que aumentan los bloques minados. Lo anterior muestra que una solución de contratos inteligentes con BC ofrece resultados estables, confiables y eficientes.

Figura 6 Comportamiento de BC frente a los procesos de regalías convencionales



Fuente: (Dhyey Mehta a, Sudeep Tanwar, Umesh Bodkhe, Arpit Shukla Kumar, 2021)

Con relación a las tecnologías de información a nivel gobierno, según el informe de Gartner del 2021, el Hype Cycle de tecnologías de gobierno digital (Figura 7) indica que la mayoría de las soluciones tecnológicas se encuentran a 5 y/o 10 años de lograr aceptación e impacto en las instituciones de gobierno, lo que sugiere que las tecnologías están aún inmaduras en el 2021.

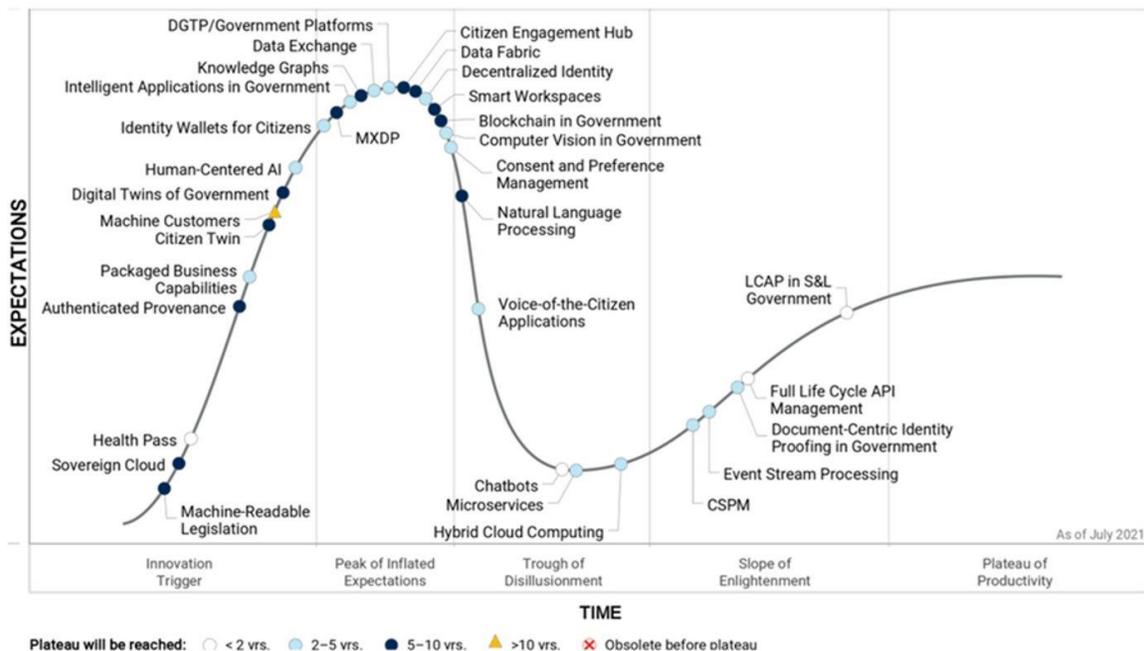
A nivel local, el concepto de gobierno digital ha tomado fuerza en las entidades del Estado colombiano al apoyar la toma de decisiones a partir de datos, establecer políticas públicas basadas en la evidencia y garantizar una mayor responsabilidad y transparencia dentro del gobierno para generar confianza en los ciudadanos. (MinTIC, 2020).

En Colombia se tiene referencia de dos aplicaciones actuales de BC: una relacionada con la lucha anticorrupción y otra a la gestión de tierras. En la primera, se realizó una prueba de concepto basado en BC para mejorar las licitaciones públicas y la selección de contratistas a través del mantenimiento de los registros a prueba de manipulaciones lo que permitió mayor transparencia, mayor automatización de funcionalidades con contratos inteligentes y mayor participación ciudadana con el fin de disminuir los casos generalizados de corrupción.

La segunda aplicación de BC implementó un prototipo que permitió almacenar de forma cifrada los documentos y soportes en los procesos de restitución de tierras, minimizando la manipulación, ajustes no acordados u omisión de las resoluciones emitidas por la Agencia Nacional de tierras (ANT).

Figura 7 Ciclo de las Tecnologías Digitales en Gobierno Fuente: (Gartner, 2021)

Hype Cycle for Digital Government Technology, 2021



3. OBJETIVOS

Basándonos en el planteamiento expuesto anteriormente, pretendemos dar respuesta a la siguiente pregunta:

¿Se pueden asegurar los datos de volúmenes de producción de hidrocarburos para la liquidación de regalías en Colombia a través del uso de Microservicios y Blockchain?

OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo con tecnologías de microservicios y blockchain que permita asegurar los datos de la producción petrolera para la liquidación de regalías en Colombia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los requerimientos funcionales y no funcionales en el modelo propuesto que permitan la adecuada liquidación de regalías a nivel de negocio, sistemas de información y tecnología usando marcos de arquitectura empresarial.
2. Desarrollar una prueba de concepto de contratos inteligentes en blockchain que ejecute de forma segura las transacciones de regalías entre los operadores y la ANH.

4. METODOLOGÍA

4.1 Descripción de actividades Objetivo Especifico 1

Diseño de la arquitectura empresarial utilizando la metodología TOGAF

Partiendo de los procesos actuales implementados por la ANH para el aseguramiento de los datos de producción, se propone utilizar el marco de trabajo de arquitectura empresarial TOGAF (The Open Group Architecture Framework) el cual define un método para desarrollar una arquitectura empresarial ADM (Architecture Development Method). La metodología seleccionada permite optimizar sistemas existentes y es adaptable al cambio.

Para el desarrollo del presente proyecto se tomó como insumo el Marco de Referencia del Modelo de Arquitectura Empresarial (MRAE) Min Tic 2019 y se aplicarán los primeros seis (6) niveles de ADM, esto con el fin de establecer los AS-IS y TO-BE de los procesos de control volumétrico y liquidación de regalías que ejecuta la ANH.

ADM Fase Preliminar

ADM Fase A Visión de arquitectura

ADM Fase B Arquitectura de negocio

ADM Fase C Arquitectura de Sistemas de Información

ADM Fase D Arquitectura Tecnológica

ADM Fase E Oportunidades y Solución

Como resultado de la aplicación de ADM se establecerán los requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para diseñar un modelo arquitectónico de aseguramiento de los datos de producción que permita generar confianza entre las partes al momento de liquidar las regalías.

4.2 Descripción de actividades Objetivo Especifico 2

Partiendo de metodologías de desarrollo de mockups y estándares de implantación de contratos inteligentes en Blockchain, a continuación, se presentan las actividades a ejecutar en el marco del presente proyecto: (Espinosa, 2020) y (Dhyey Mehta a, Sudeep Tanwar, Umesh Bodkhe, Arpit Shukla Kumar, 2021).

1. Definir Requisitos de características del Proof-Of-Concept (POC)
2. Definir de Métricas Claves
3. Alinear a los interesados
4. Construir el Prototipo Blockchain
 - i. Escoger Blockchain y su plataforma
 - iii. Requerimientos funcionales
 - iv. Requerimientos No Funcionales
 - v. Especificar la Interfaz
 - vi. Despliegue de los contratos
 - vii. Ejecutar pruebas.

5. DESARROLLO METODOLOGICO

5.1 Desarrollo Objetivo específico 1 – OE1

5.1.1 ADM Fase Preliminar

En la fase preliminar se describe el proceso de fiscalización (control volumétrico) y liquidación de regalías y se hace un diagnóstico del proceso enfocado a las reclamaciones, reliquidaciones de regalías y en oportunidades de mejora.

Control volumétrico y liquidación de regalías

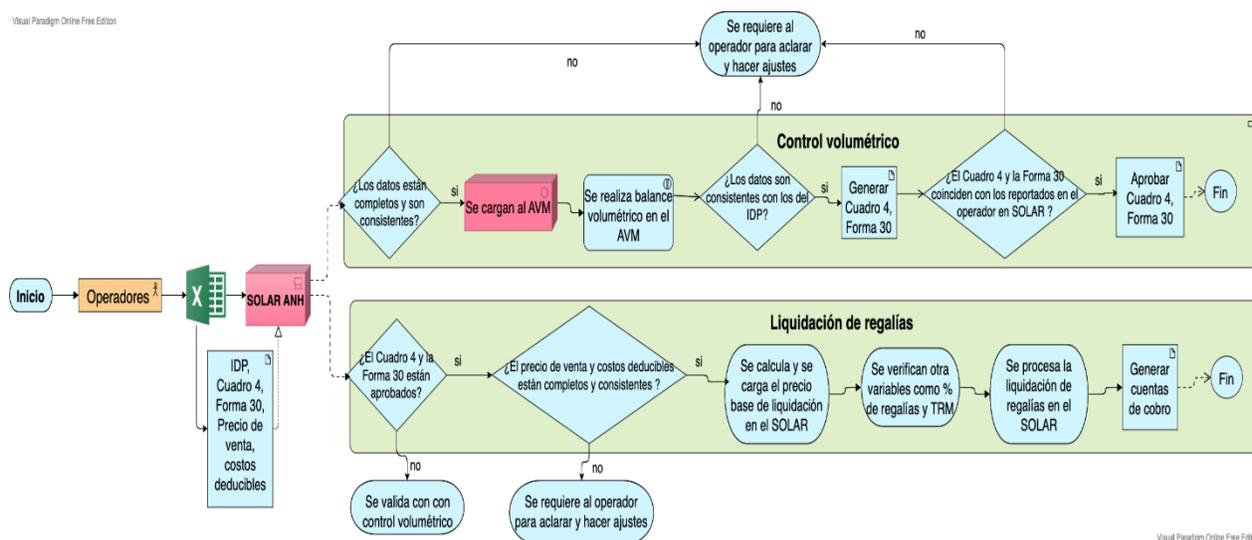
Como soporte tecnológico para el control volumétrico y liquidación de regalías la ANH tiene implementada dos herramientas tecnológicas: AVM (Avocet Volumes Manager) – Sistema de administración de datos operacionales de producción y SOLAR (Sistema Oficial de Liquidación y Administración de Regalías).

El **AVM** es un software desarrollado por la compañía Schlumberger que permite realizar balances volumétricos y calcular la producción a nivel de contrato, campo y pozo. El aplicativo **SOLAR** es el sistema oficial de liquidación y administración de regalías implementado por la ANH para recibir la información de los operadores, almacenarla y procesar los cálculos de las regalías.

En el proceso de control volumétrico los operadores deben reportar a la ANH los datos sobre el balance volumétrico de la producción del día anterior por campo, incluyendo volumen en tanques, medidores líquidos, medidores de gas, pruebas y paradas de pozos, producción por pozo entre otros parámetros a través de un libro de Excel con 9 hojas denominado **Informe Diario de Producción- IDP**, en el portal web del **SOLAR**.

Por otra parte, el operador reporta en el **SOLAR** el **Cuadro 4 (Anexo 4 – Respuesta 3er Derecho de petición ANH 16 mayo 2023)** con la **producción gravable** mensual por campo, la cual resulta de restarle a la producción total el consumo en operaciones y las pérdidas, de igual forma reporta los precios de venta y costos deducibles para el cálculo de las regalías. (Figura 8 Proceso de control volumétrico y liquidación de regalías ANH).

Figura 8 Proceso de control volumétrico y liquidación de regalías ANH



Nota: Elaboración propia con información tomada del Procedimiento interno ANH para la medición y aseguramiento de la producción de hidrocarburos, 2021. Nota: Elaboración propia

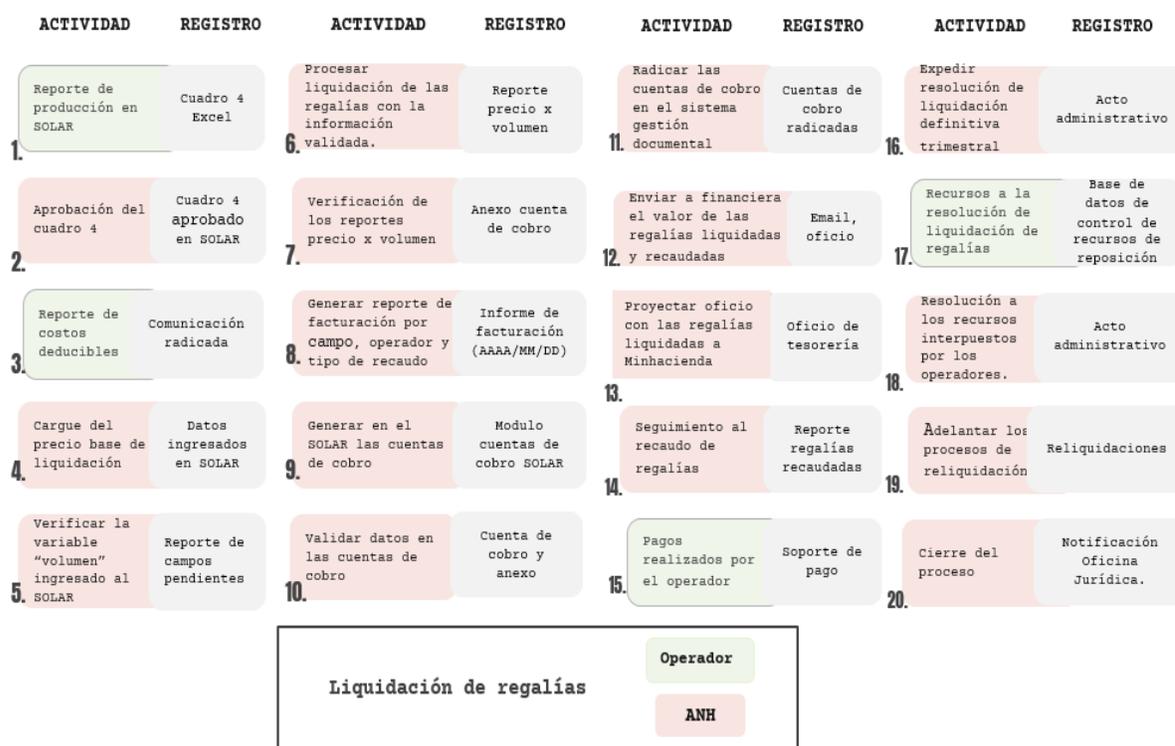
Una vez se van recibiendo y validando los IDP del mes por cada campo, los analistas volumétricos de la ANH realizan las aclaraciones de las inconsistencias que se presenten con los operadores para correr los balances volumétricos en el AVM, este software genera un nuevo Cuadro 4, el cual debe coincidir con el reportado por el operador en el aplicativo SOLAR y poder aprobar el Cuadro 4.

Con la información validada y aprobada en los dos (2) aplicativos, se procede a generar el reporte consolidado mensual de cada sistema: IDP- AVM (Reporte Maestro) y SOLAR (Reportes Producción de petróleo y gas) y se procede a liquidar las regalías en el SOLAR aplicando las demás variables: precio base de liquidación, porcentaje de regalías y TRM; y finalmente generar las cuentas de cobro mensuales por campo.

El proceso anterior, es un punto de control implementado por la ANH que busca asegurar que los volúmenes de producción que reportan las compañías operadoras correspondan realmente a la producción del campo para la adecuada liquidación de regalías. (Informe de gestión ANH 2022)

En la Figura 9, se muestra una relación de las actividades realizadas en el proceso de liquidación de regalías con su respectivo registro de cada actividad, desde que el operador reporta la producción y los costos deducibles en el SOLAR, hasta que se genera la cuenta de cobro y se resuelven los recursos de reposición por procesos de reliquidaciones.

Figura 9 Actividades y Registros en el proceso de liquidación de regalías



Nota: Elaboración propia – Tomado del Procedimiento Ciclo de las regalías Agencia Nacional de Hidrocarburos 2021

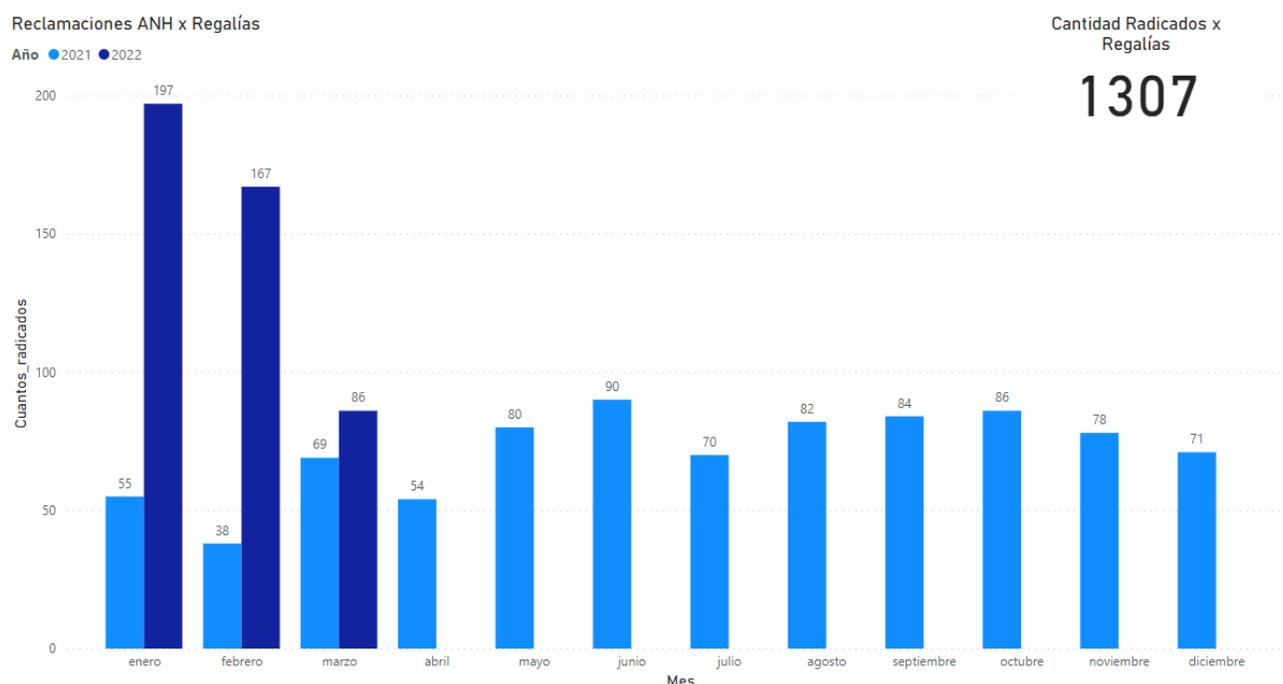
Reclamaciones y Reliquidaciones sobre cálculo de Regalías

La ANH recibe de los entes territoriales y los operadores constantes reclamaciones por el incorrecto cálculo de las regalías. Muestra de esto se presenta en los siguientes indicadores de 2021. (Fuente: Anexo 2 – Respuesta Derecho de petición ANH marzo 2022).

Si bien no todas las reclamaciones prosperan, una vez se comprueban inconsistencias en el cálculo, los operadores solicitan a la ANH la reliquidación de las regalías, incluso si la ANH detecta algún error o desviación en el cálculo también realiza un proceso de reliquidación.

En Figura 10, se observa un aumento considerable de las reclamaciones en el 2022 con respecto al 2021 para **un total de 1307 reclamaciones** a corte de marzo de 2022.

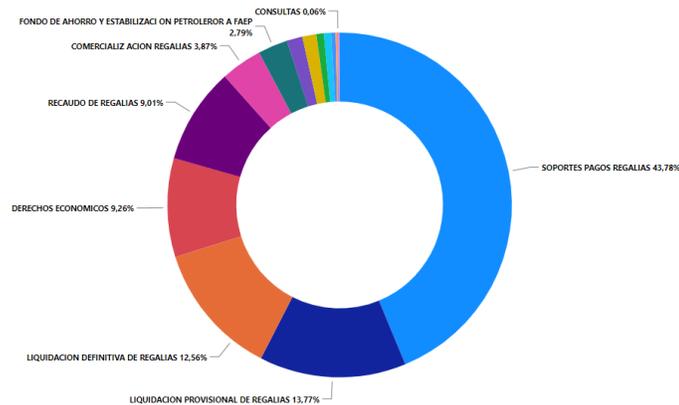
Figura 10 Reclamaciones ANH x Regalías



Fuente: Elaboración propia tomando los datos reportados entregados por las ANH.

En la Figura 11, se observa que un 52% de todas las reclamaciones son por dudas en los soportes de pagos entregados y un 30% son por errores en liquidaciones.

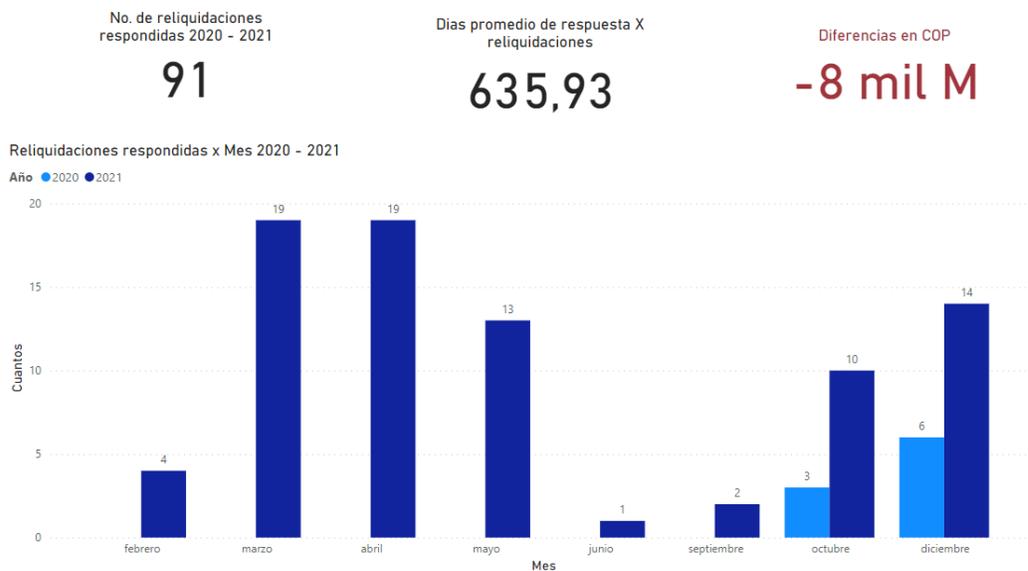
Figura 11 Tipo de Reclamaciones x Regalías



Fuente: Elaboración propia tomando los datos reportados entregados por las ANH.

En la Figura 12 Reliquidaciones respondidas x mes 2022-2021, las cifras tabuladas son poco alentadoras, si se considera que los procesos de reliquidación que prosperan se pueden tardar en promedio 2 años, esto contrasta con los resultados poco despreciables de estos si es que se llegan a un fallo favorable, donde los operadores en total han reconocido más de 8 mil millones de pesos en lo que respecta al año 2020 y 2021.

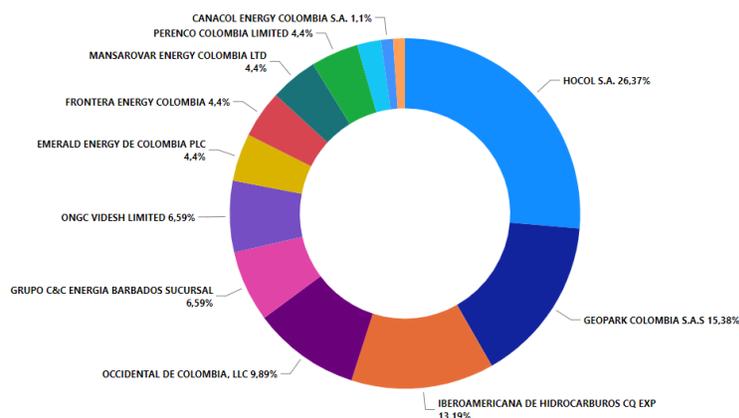
Figura 12 Reliquidaciones respondidas x mes 2022-2021



Fuente: Elaboración propia tomando los datos reportados entregados por las ANH.

En la Figura 13 Reliquidaciones x operadora 2020-2021 se observa que entre 2020 y 2021 Hocol presentó el mayor número de reclamaciones con un 26,37% seguido de Geopark con un 15,38%.

Figura 13 Reliquidaciones x operadora 2020-2021



Fuente: Elaboración propia tomando los datos reportados entregados por las ANH.

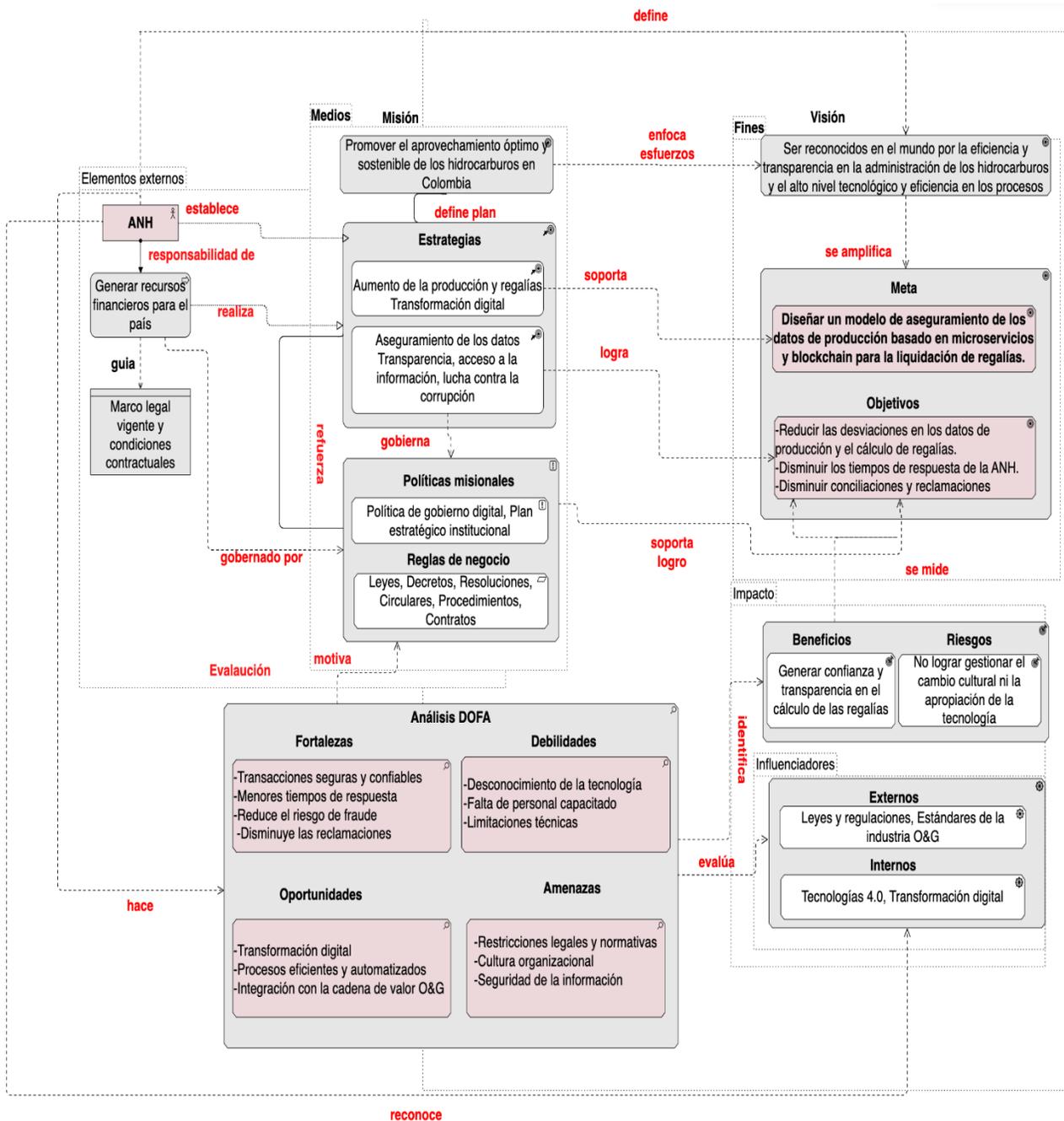
5.1.2 ADM Fase A Visión de Arquitectura

En la fase de visión de arquitectura se realiza una representación general de la arquitectura objetivo, se establece el alcance y el enfoque para desarrollar la arquitectura empresarial, incluyendo los objetivos, requisitos, estrategias, debilidades, fortalezas, oportunidades, amenazas, impacto esperado, riesgos, políticas misionales y reglas del negocio.

Para la visión de arquitectura se utilizó el Business Motivation Model (Modelo de Motivación de Negocio)-BMM que es un esquema que permite desarrollar, gestionar y comunicar un plan de negocio de manera estructurada identificando los fines de la organización, los medios para lograr dichos fines, los factores de influencia (internos y externos) y la evaluación de estos a través de un análisis DOFA.

En la Figura 14 Modelo de Motivación de Negocio - Visión de arquitectura. se logró alinear la arquitectura deseada con el plan estratégico de la unidad organizacional, que para el caso de este proyecto es la Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH y la meta es diseñar un modelo de aseguramiento de los datos de producción petrolera basado en microservicios y blockchain para la liquidación de regalías.

Figura 14 Modelo de Motivación de Negocio - Visión de arquitectura

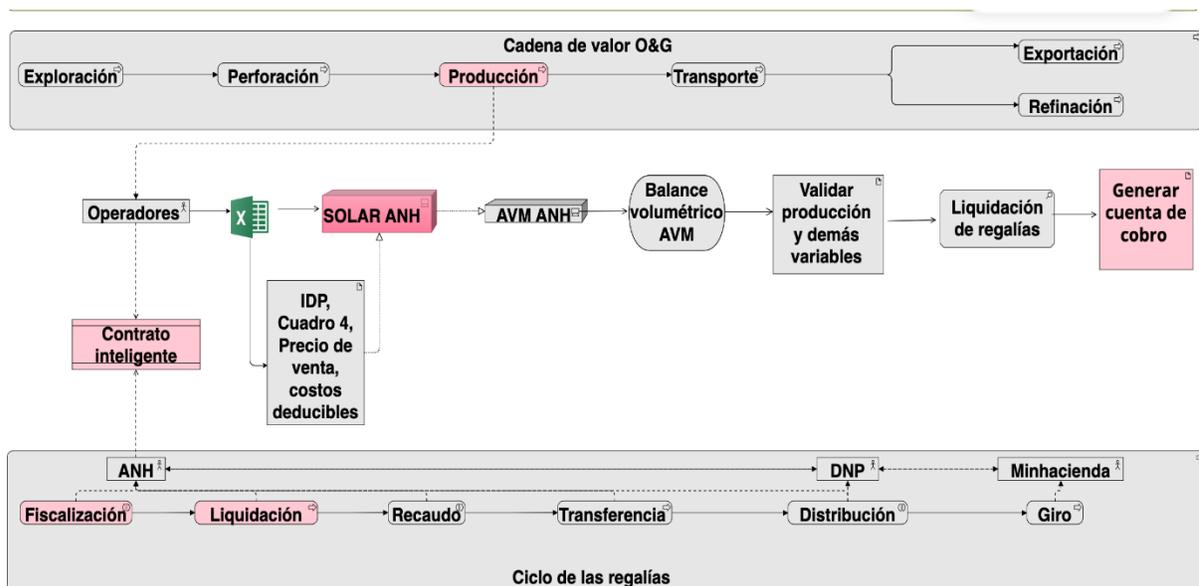


5.1.3 ADM Fase B Arquitectura Misional (Negocio)

AS IS

En esta fase como se observa en la Figura 15 Arquitectura Misional AS IS, se identifican los procesos claves del ciclo de regalías (fiscalización y liquidación) y de la cadena de valor O&G (producción) que intervienen en el proyecto para el desarrollo de la arquitectura empresarial y como se describió en la fase preliminar el proceso de control volumétrico y liquidación de regalías implementados por la ANH, desde que el operador hace los reportes correspondientes hasta la generación de la cuenta de cobro para el pago de la regalías.

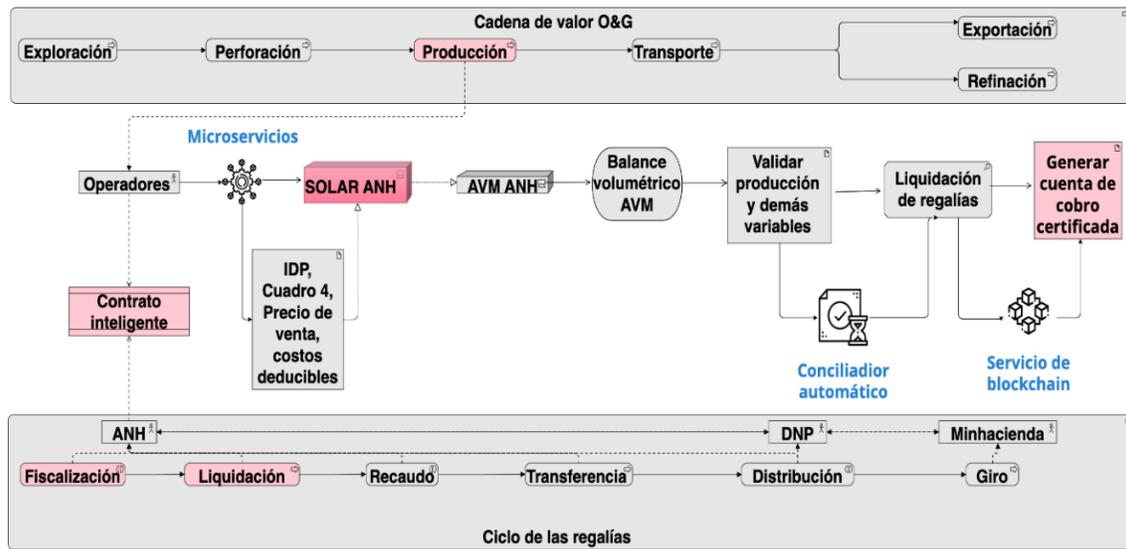
Figura 15 Arquitectura Misional AS IS



TO BE

Las propuestas de mejora para la optimización del proceso actual Figura 16 Arquitectura Misional TO BE, se incluye la implementación de microservicios para la captura de la información y un conciliador **automático** de los datos de producción, luego a partir de ese dato de valor conciliado la ANH liquida las regalías en el SOLAR para finalmente a través de un **servicio blockchain** el operador acepte el valor liquidado y generar una cuenta de cobro certificada.

Figura 16 Arquitectura Misional TO BE

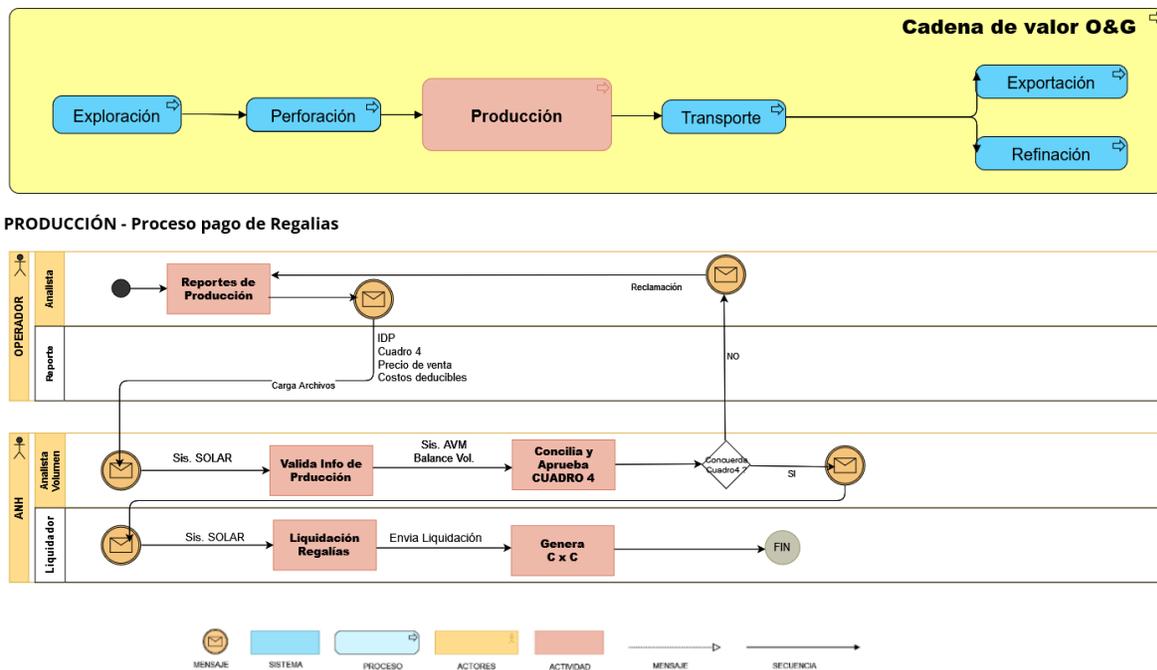


5.1.4 Fase C Arquitectura de Sistema de Información

AS IS

En esta fase se indica como los sistemas de información implementados actualmente por la ANH (SOLAR y AVM) buscan asegurar el dato de producción para la liquidación de regalías.

Figura 17 AS IS Sistemas de Información



Los controles que tiene la ANH implementados para asegurar los datos de producción son poco eficientes y efectivos, se presentan con mucha frecuencia demoras en los tiempos de generación y corrección de los reportes por las inconsistencias en los volúmenes de producción y demás variables.

Muchas veces el AVM de la ANH no tiene actualizadas las configuraciones operacionales de los campos, medidores, los pozos activos e inactivos, paradas y pruebas de pozos, y los puntos de medición oficial, sumado a esto en ocasiones los operadores incumplen los planes metrológicos principalmente en la vigencia de la calibración de equipos y tablas de aforo de los tanques y la ANH no hace visitas de fiscalización en la totalidad de los campos, lo anterior origina constantes reliquidaciones, conciliaciones y reclamaciones durante el proceso.

TO BE

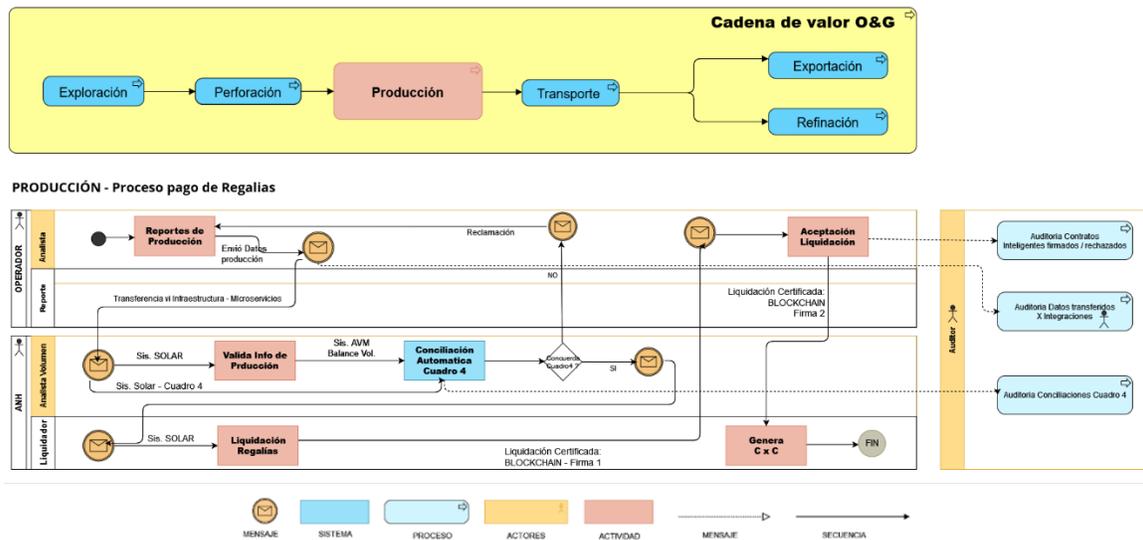
El modelo propuesto busca soportar las transacciones de cálculo de regalías petroleras incorporando dos tecnologías al proceso: un esquema basado en arquitectura de microservicios y contratos inteligentes en blockchain; estas soluciones tecnológicas permitirían a la ANH tener una herramienta más segura y confiable para el manejo de este tipo de transacciones en comparación con el esquema actual, generando transparencia entre el Estado y las compañías petroleras y demás grupos de interés.

Con la arquitectura de microservicios se espera ofrecer una solución de captura de datos flexible y adaptable a las capacidades técnicas de cada operador petrolero.

Por otro lado, el modelo de aseguramiento propuesto mediante contratos inteligentes en blockchain, implica que sea descentralizado y que las partes tengan acceso en tiempo real a una plataforma donde los registros son inmutables y cualquier cambio deje la trazabilidad para ser verificable, lo que permite el intercambio de información de manera segura, confiable y transparente. Además, se deben implementar protocolos de consenso para llegar a acuerdos generales entre las partes.

A continuación, se muestra el TO-BE de la arquitectura empresarial propuesta, donde toda la información de la explotación petrolera en el país se reportaría a través de microservicios y se certificaría a través de blockchain:

Figura 18 TO BE Sistemas de Información



Los puntos relevantes del modelo propuesto son los siguientes:

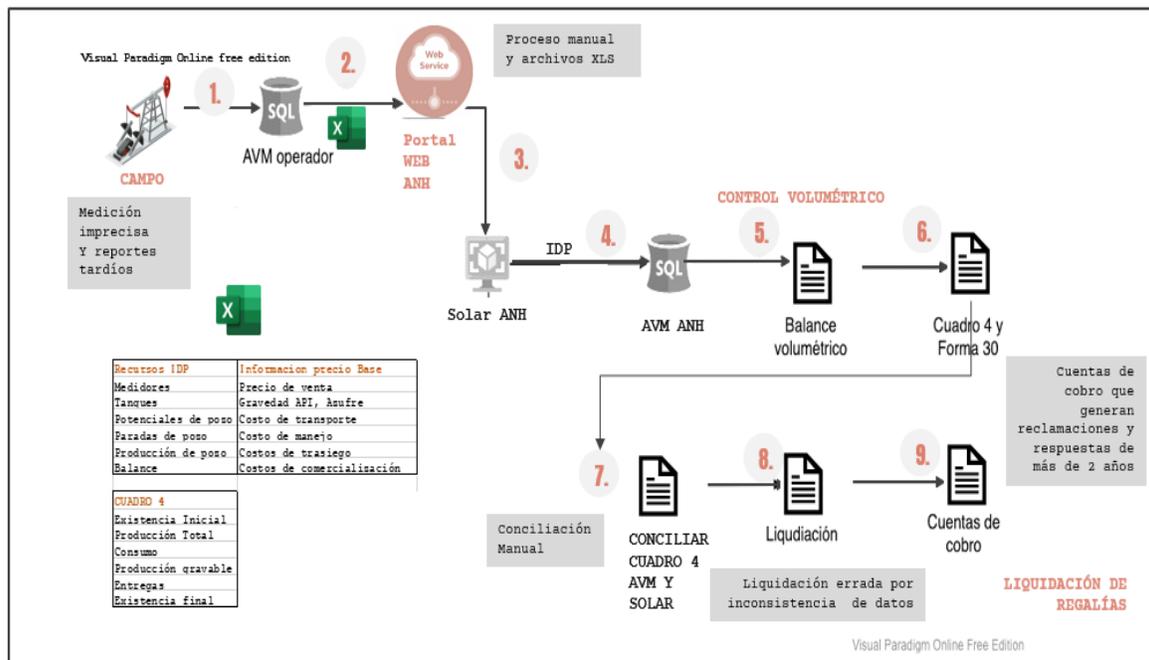
- 1) Una solución de microservicios para el reporte de producción de los campos del país
- 2) Un conciliador automático del Cuadro 4 que genere alertas tempranas ante una eventual diferencia o desviación en los volúmenes de producción gravables
- 3) Un servicio de contratos inteligentes en BC que permita generar aprobaciones certificadas de liquidación de regalías entre la ANH y el operador
- 4) Un rol de auditoría que permita monitorear todos los eventos de los tres puntos anteriores.

5.1.5 Fase C Arquitectura de Tecnología

AS IS

A continuación, se presenta tecnología actual de la ANH para los procesos de control volumétrico y liquidación de regalías, donde se indican cada uno de los componentes técnicos y sus iteraciones. (Figura 19)

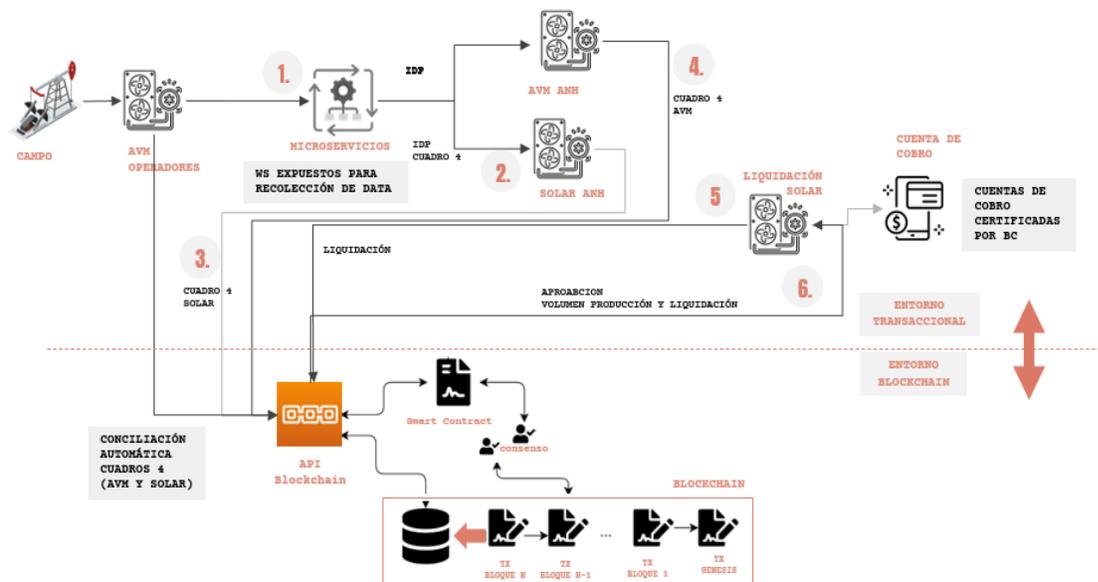
Figura 19 AS IS Arquitectura de Tecnología – Modelo de flujo de datos



TO BE

En el modelo de arquitectura propuesto se plantea transmitir la información desde la fuente, es decir desde los campos y almacenarla en una única plataforma donde las partes (ANH y operadores) tengan acceso a la misma información, lo cual garantiza la integridad de los datos (Microservicios), y a través de una plataforma blockchain ejecutar los contratos inteligentes, es decir, a través de una aplicación ejecutar los acuerdos establecidos en los contratos y la ley, haciendo que ciertas acciones sucedan como resultado de que se cumplan una serie de condiciones específicas. (Figura 20)

Figura 20 TO BE Arquitectura de Tecnología - – Modelo de flujo de datos



5.1.6 Resultados del diagnostico

Las principales falencias encontradas en el proceso de control volumétrico y liquidación de regalías implementado por la ANH se resumen a continuación:

- Los operadores muchas veces no reportan la información de manera oportuna, completa y con calidad a los sistemas de información de la ANH.
- La ANH muchas veces tiene información desactualizada que dificulta la liquidación de regalías.
- Existe gran cantidad de actores en el proceso de generación y verificación de los reportes por parte de las compañías y la ANH.
- Los reportes son susceptibles de alteración y error humano.
- No se dispone de los datos de producción en tiempo real.
- Demoras en las correcciones de los datos.
- Las bases de datos de algunos operadores y de la ANH son independientes a pesar de utilizar la misma aplicación (AVM).
- Las operadoras tienen más detallada las configuraciones de los campos en AVM que la ANH.
- Inconsistencias en los volúmenes de producción
- La ANH no contrasta los precios de venta de crudo y los costos deducibles reportados por el operador como facturas de venta y de transporte,

declaraciones de exportación, impuestos para la determinación del precio base de liquidación.

- Constantes reliquidaciones, conciliaciones y reclamaciones.

Considerando las cifras por reclamación/reliquidaciones presentadas anteriormente y analizado todo el proceso de control volumétrico y gestión de regalías implementado actualmente por la ANH, hemos clasificado los puntos de mejora en las siguientes categorías en Tabla 3 Análisis de resultados de metodología Togaf:

Tabla 3 Análisis de resultados de metodología Togaf

Categoría	Oportunidades de mejora
<p>Aseguramiento de los datos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los operadores muchas veces no reportan la información de manera oportuna, completa y con calidad a los sistemas de información de la ANH. • Los IDP (archivos en formato Excel) son susceptibles a la manipulación y al error humano, lo cual compromete la integridad, confidencialidad e integridad de la información desde la perspectiva de Seguridad de la Información. • El portal web diseñado para la integración de los sistemas, funcionan con base en estas fuentes no normalizadas (Excel) y no a los sistemas fuentes de medición. • Los controles implementados por la ANH que buscan asegurar los datos de producción para la adecuada liquidación de regalías son poco eficientes y efectivos. • Para asegurar los datos de producción se requiere de un análisis de las fuentes de datos, su transmisión, custodia, los procedimientos metrológicos, correcta fiscalización de la producción y el manejo de los errores en la medición.

<p>Control de Calidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>El MME y la ANH no hacen exigible a los operadores la implementación de mejores sistemas de medición de acuerdo con el tamaño y economía de los campos.</i> • <i>La ANH no cruza los datos de producción de los campos (upstream) con información de otras unidades de la cadena de valor del proceso como entradas y salidas a oleoductos, volúmenes transportados por carrotanques, (midstream), puertos y refinerías (downstream).</i>
<p>Acceso a la Información</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La ANH no tiene cuenta los principios de publicidad y transparencia establecidos en la ley, lo que se ve reflejado en que actualmente los datos relacionados a la producción de hidrocarburos y al cálculo y pago de las regalías no son divulgados oficialmente de forma completa, transparente y asequible que permita su revisión por una tercera parte externa al proceso.
<p>Control de Calidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El MME y la ANH no hacen exigible a los operadores la implementación de mejores sistemas de medición de acuerdo con el tamaño y economía de los campos. • La ANH no cruza los datos de producción de los campos (upstream) con información de otras unidades de la cadena de valor del proceso como entradas y salidas a oleoductos, volúmenes transportados por carrotanques, (midstream), puertos y refinerías (downstream).
<p>Acceso a la Información</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La ANH no tiene cuenta los principios de publicidad y transparencia establecidos en la ley, lo que se ve reflejado en que actualmente los datos relacionados a la producción de hidrocarburos y al cálculo y pago de las regalías no son divulgados oficialmente de forma completa, transparente y asequible que permita su revisión por una tercera parte externa al proceso.

5.1.7 Oportunidades y Solución

Teniendo en cuenta las brechas identificadas en cada una de las fases anteriores (fase de arquitectura de negocio, fase de arquitectura de sistemas de información y fase de arquitectura de tecnología) las cuales fueron agrupadas en iniciativas o proyectos que están orientados a conseguir los objetivos establecidos en la visión de arquitectura definidos a partir de requerimientos funcionales y no funcionales.

Requerimientos Funcionales y No funcionales

Un requerimiento funcional es la capacidad que debe tener un sistema o software para cumplir con los objetivos de la solución planteada, describiendo lo que debe hacer el sistema en términos de entradas, salidas y resultado esperado. Por otro lado, un requerimiento no funcional se refiere a las características y restricciones que deben cumplirse en el sistema, pero que no están directamente relacionadas con su funcionalidad principal. Estos requerimientos se centran en aspectos como el rendimiento, la seguridad, la usabilidad y la calidad.

Considerando lo anterior y partiendo del análisis del modelo propuesto en la Figura 20 TO BE Arquitectura de Tecnología - – Modelo de flujo de datos, se identifican los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales:

Requerimientos Funcionales

Partiendo del análisis de brechas establecido entre el análisis de procesos y las aplicaciones se establecen los Requerimientos funcionales listados en la Tabla 4 Requerimientos funcionales.

Tabla 4 Requerimientos funcionales

GAP-ID	Dimensión	Nombre	Descripción
BPM-01	Procesos	Reportar producción	El reporte de la información de producción debe ser automatizado en una infraestructura común de recepción de archivos.
BPM-02	Procesos	Validar información	Se debe reportar el estado del envío de la información (número de datos, consistencia de los datos)
BPM-03	Procesos	AVM_Balance volumétrico	Con la información validada en el balance volumétrico por campo se hace de manera más eficiente y se

			encuentran inconsistencias de manera oportuna.
BPM-04	Procesos	Conciliación automática Cuadro 4	Se debe implementar un conciliador automático entre el Cuadro 4 reportado por el operador y el generado en el balance volumétrico en el AVM.
BPM-05	Procesos	Liquidar regalías	Las regalías se deben liquidar con el valor de producción conciliado.
BPM-06	Procesos	Aceptación de la liquidación por el operador	Se debe generar un protocolo de consenso en el que el operador acepte el valor de regalías liquidado por la ANH.
BPM-07	Procesos	Generar cuenta de cobro certificada	Se genera una cuenta de cobro mensual por campo certificada.
App-G1	Aplicaciones	Solar archivos	Se elimina el reporte de datos a través de Solar.
App-G2	Aplicaciones	AVM	La transferencia de datos al AVM de la ANH es directa desde el AVM del operador o se hace a través de microservicios.
App-G3	Aplicaciones	Solar archivos	Se mantiene la validación de los datos por los analistas y se implementan reportes de auditoría para el control de umbrales.
App-G4	Aplicaciones	AVM	Se mantiene la validación de los datos por los analistas y reportes de auditoría para el control de umbrales.
App-G5	Aplicaciones	Solar archivos	La conciliación manual del Cuadro 4 del Solar y el AVM se reemplaza por un conciliador automático.
App-G6	Aplicaciones	AVM	La conciliación manual del Cuadro 4 del Solar y el AVM se reemplaza por un conciliador automático
App-G7	Aplicaciones	Solar liquidador	Se modifica la liquidación en el Solar con base en el valor de producción conciliado manualmente.
App-G8	Aplicaciones	Solar liquidador	Se modifica la generación de la cuenta de cobro con base en el valor

			de producción conciliado manualmente.
App-G9	Aplicaciones	Microservicios	Se incluyen microservicios para la recolección de los datos que entrega el operador
App-G10	Aplicaciones	Conciliador automático Cuadro 4 BC	Se debe implementar un conciliador automático entre el Cuadro 4 del Solar y el AVM
App-G11	Aplicaciones	Solar liquidador	El Solar liquidador toma el valor conciliado de la producción gravable del conciliador automático y liquida las regalías.
App-G12	Aplicaciones	Certificador BC	Se incluye un servicio de BC que certifique el valor a pagar x regalías por el operador.
App-G13	Aplicaciones	Solar	Se genera una cuenta de cobro mensual por campo certificada.

Requerimientos NO Funcionales

Considerando el tipo de soluciones tecnológicas y sus arquitecturas propuesta en este documento, en la siguiente Tabla 5 Requerimientos NO funcionales, se definen los principales requerimientos no funcionales a tener en cuenta, junto con sus escenarios claves de calidad.

Tabla 5 Requerimientos NO funcionales

Descripción	Criterio de calidad	Escenario	Impacto	Solución
La solución propuesta deberá contar con tiempos de respuesta adecuados y a la luz de las necesidades de la operación y cálculos de regalías, esto supone contar con alta disponibilidad y balanceo de cargas.	Fiabilidad	Sobrecarga del sistema al atender múltiples cargas de Cuadro 4	Largos tiempos de respuesta	Desde Blockchain se puede determinar la velocidad de cómputo mínima requerida. A mayor velocidad se tendrá que cubrir un costo de Gas Price.
Considerando la criticidad del proceso y los volúmenes de dinero involucrados, toda solución tecnológica propuesta deberá contemplar altos niveles de seguridad y la menor	Seguridad	Fuga de información y/o edición de cálculos ya entregados	Pérdida de confianza en los cálculos entregados	El consenso en Blockchain asegura que todos los participantes de la red estén de acuerdo sobre qué transacciones son válidas y en qué orden se deben agregar, esto ayuda mantener la

interacción posible del humano con los datos.				integridad y la inmutabilidad de los datos.
Las acciones de crear el contrato, validar los cuadros 4 de: AVM y SOLAR junto con la validación del calculo de regalía, deben tener una interfaz amigable y segura.	Usabilidad	Dificultades al escribir y consultar el contrato inteligente en Blockchain	Se desestima el uso de la solución por parte del operador y/o la ANH	Como un evolutivo se sugiere crear una interfaz WEB que haga escritura y lectura al Blockchain por medio de los servicios de integración tipo API que ya se exponen desde la solución implementada. Por otro lado, se deberán desarrollar manuales para usuarios finales.
La solución tecnológica deberá soportar los evolutivos necesarios que requieran las partes: ANH y Operadores.	Mantenibilidad	La solución no es adaptable a las necesidades de los operadores, ANH y leyes de gobierno	La solución puede quedar obsoleta por no cumplir requerimientos mandatorios	Se desarrolla la solución sobre Ethereum, el Blockchain número uno en contratos inteligentes junto con su lenguaje de programación estándar conocido como SOLIDITY. Esto garantiza que el producto puede evolucionar incluso aprovechar o reutilizar mejoras ya implementadas en otras soluciones expuestas en la Blockchain.

5.2 Desarrollo Objetivo específico 2 – OE2

5.2.1 Definir Requisitos y características del POC

Partiendo de los requerimientos funcionales que entregó el desarrollo del Objetivo 1 del presente documento, a continuación, en la Tabla 6 Requerimientos funcionales de la prueba de concepto, se listan los GAPs de aplicaciones que se cubrirían con la presente prueba de concepto, utilizando como habilitador tecnológico Contratos inteligentes en Blockchain:

Tabla 6 Requerimientos funcionales de la prueba de concepto

App-G10	Se debe implementar un conciliador automático entre el Cuadro 4 del Solar y el AVM
App-G12	Se incluye un servicio de BC para que el operador acepte las regalías liquidadas por la ANH.

Con el fin de presentar a Blockchain como alternativa eficiente y segura para el cálculo de regalías de la explotación petrolera, se desarrolla una prueba de

concepto en el cual se hará validación de tres (3) acciones principales desde la red de Blockchain TESNET de Ethereum.¹

Estas tres (3) acciones son las siguientes:

i. Creación de contrato

Una vez establecidos los datos básicos del contrato firmado entre la ANH y un operador, se ejecutará la escritura del contrato en el Blockchain para así dejarlo disponible y público en la red para consulta.

Es de aclarar, que cada escritura en el Blockchain genera un consumo de Gas Price (representado por Wei). Lo cual representa el valor en costo computacional para el procesamiento y carga de la data en la red. Un ejemplo para su cálculo es el siguiente:

Si al escribir nos presenta un costo de 1124012 WEI

En GWEI (Por mil millones) es: 0,001124012

Los GWE se multiplican por la Tarifa de prioridad del momento (2.5 usd)
 $0,001124012 \times 2.5\text{USD} = 0,00281003$

Y finalmente este valor se multiplica por el valor de la Cripto en este caso Ethereum

$0,00281003 \times \text{Valor ETH (1835,56 usd)} = 5,16 \text{ USD}$

En total escribir en el Blockchain de pruebas de Ethereum, en ese instante de tiempo consto: 5.16 dólares.

NOTA: Este cobro solo es posible si existe saldo de la Criptomoneda que representa el Blockchain elegido.

ii. Validación Cuadro 4 de las 2 fuentes

El contrato valida la producción entregada por SOLAR versus el consolidado por el sistema AVM.

Si valor de producción entregada por SOLAR con Cuadro 4 es igual Cuadro 4 que entrega el sistema AVM entonces:

“Valores de producción aprobados”

¹ Una testnet es un tipo de red diseñada para que los desarrolladores realicen pruebas y experimenten en una red con las mismas características y apariencias de la red principal de Blockchain.
<https://crypto4dummy.com/que-es-testnet/>

iii. Confirmación de la Liquidación

El contrato inteligente valida la liquidación entregada por SOLAR versus un cálculo ejecutado con los datos de producción mensual del Cuadro 4 del AVM entregado que entrega el operador:

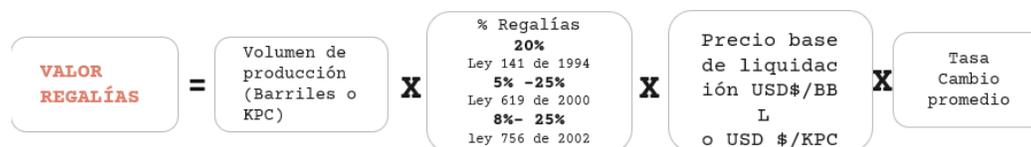
Si liquidación calculada con Cuadro 4 del AVM es igual a liquidación realizada por SOLAR entonces: **“Liquidación aprobada”**

El cálculo de las regalías se realiza de manera mensual para cada campo y se aplican las variables como se muestra en la Figura 21 Liquidación de regalías, Agencia Nacional de Hidrocarburos 2020, como lo son: volumen de producción, el porcentaje de regalías, el precio base de liquidación y la tasa de cambio promedio, dentro de las cuales como ya se mencionó anteriormente el volumen es la variable más sensible, ya que si se subestima la producción por errores de medición o en los reportes de producción se pueden generar grandes pérdidas económicas para el país por concepto de regalías, derechos económicos, dividendos de Ecopetrol e impuestos que el Estado dejaría de recibir.

Otra variable importante al momento de liquidar las regalías el precio base de liquidación, para la cual el operador debe remitir a la ANH los soportes y facturas de los costos de dilución, transporte, comercialización, gastos administrativos y de calidad del crudo por campo y mes respectivo a liquidar.

Al momento de plantear el proyecto *"Modelo de aseguramiento de los datos de producción petrolera para la liquidación de regalías en Colombia"* el alcance se definió para los volúmenes de producción que es la variable más sensible y cuyo dato es el más difícil de asegurar para la ANH y se acotó solo para el tema de regalías, las cuales representan la mayor parte de los ingresos al Estado y tienen mayor impacto porque a través de ellas se financian los proyectos de inversión social en las regiones.

Figura 21 Liquidación de regalías, Agencia Nacional de Hidrocarburos 2020



5.2.2 Definición de Métricas Claves

Teniendo en cuenta que con el desarrollo del presente proyecto se busca diseñar un modelo de operación que genere confianza en los datos de producción para la liquidación de regalías, se espera cumplir con los siguientes hitos:

- Al hacer uso de del marco arquitectónico propuesto, se busca garantizar la integridad de la información de los volúmenes de producción, y se espera lograr los siguientes resultados claves:
 - i. Control a las desviaciones en el recaudo de las regalías y transferencias al Sistema General de Regalías por la implementación del modelo propuesto en el presente proyecto.
 - ii. Optimización del tiempo requerido para generación de los cálculos por regalías.
 - iii. Disminución de reclamaciones de los entes territoriales y operadores por cálculo de regalías.

A continuación, se muestran las fichas desarrolladas para los cuatro (4) indicadores más relevantes del presente proyecto:

Tabla 7 Indicadores de la prueba de concepto

ID	KPI_1 Producción	Dimensiones: 1. Barriles 2. Fecha
Descripción	% Desviación de la Producción	
Regla de cálculo	Producción reportada /Producción conciliada	
Frecuencia de calculo	Mensual	
Interpretación	0-0,05% Despreciables aceptadas en la norma. 0-1% Considerable 2--5% Muy Considerable Mayores a 5% Alarmante	
Tipo de indicador	Operacional, desempeño	
ID	KPI2_Regalías	Dimensiones: 1. Tiempo 2. Fecha
Descripción	% Disminución tiempos para el cálculo de la Regalías	
Regla de cálculo	Tiempo con Modelo /Tiempo modelo actual	
Frecuencia de calculo	Segundos	
Interpretación	0-0,05% Despreciables 0-1% 2--5% Mayores a 5% Optimización	
Tipo de indicador	Operacional, desempeño	

ID	KPI3 Reducción de las reclamaciones	Dimensiones:
Descripción	% Disminución en las reclamaciones	1. % Año 2. Fecha
Regla de cálculo	Reclamaciones con modelo/Reclamaciones año actual	
Frecuencia de calculo	Anual	
Interpretación	0-0,05% Despreciables 0-1% 2--5% Mayores a 5% Ideal	
Tipo de indicador	Operacional, desempeño	

5.2.3 Alinear a los interesados

Si bien no se logró alinear a la ANH y Operadores para este proyecto, al tratarse de una propuesta de solución a un proceso que tiene falencias, ha sido avalado como proyecto de grado y a su vez como ejercicio académico para ser presentado.

Durante la ejecución del proyecto, a pesar de realizar las gestiones correspondientes en la Contraloría General de la República en el Centro de estudios Fiscales y en la Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH no fue posible conseguir un patrocinador que nos sirviera de enlace con los operadores, por lo que se desarrolló el proyecto con los conocimientos y experiencia de los autores y el director, y con la información solicitada a la ANH a través de derechos de petición.

Es importante resaltar que muchas veces los operadores y la ANH son herméticos con el acceso de información a terceros, ya que pueden mostrar datos importantes de su negocio y en otras ocasiones tienen cierta prevención con los entes de control.

5.2.4 Construir el Prototipo Blockchain

i. Escoger Blockchain y su plataforma

El contrato inteligente de la prueba de concepto ha sido desarrollado bajo las siguientes tecnologías:

Blockchain: Ethereum

Creada en 2015 por el programador Vitalik Buterin, con la idea de crear un instrumento para aplicaciones descentralizadas y colaborativas. Su criptomoneda nativa es Ether (ETH).

Ventajas: pionera incluyendo programación y es la segunda moneda más importante en el mundo Cripto.

Entorno de desarrollo: REMIX

Es una de las herramientas más populares utilizadas por los desarrolladores de Ethereum. <https://remix.ethereum.org>

Lenguaje de programación: SOLIDITY

Lenguaje de programación para el desarrollo de contratos inteligentes en la red Ethereum. Licencia del MIT.

Cripto moneda en red pruebas: SepoliaETH

SepoliaETH es una criptomoneda que permite escribir en la red Blockchain de pruebas de Ethereum. Para adquirir monedas es necesario entrar a la URL <https://sepoliafaucet.com/> y solicitarlas

ii. Requerimientos funcionales

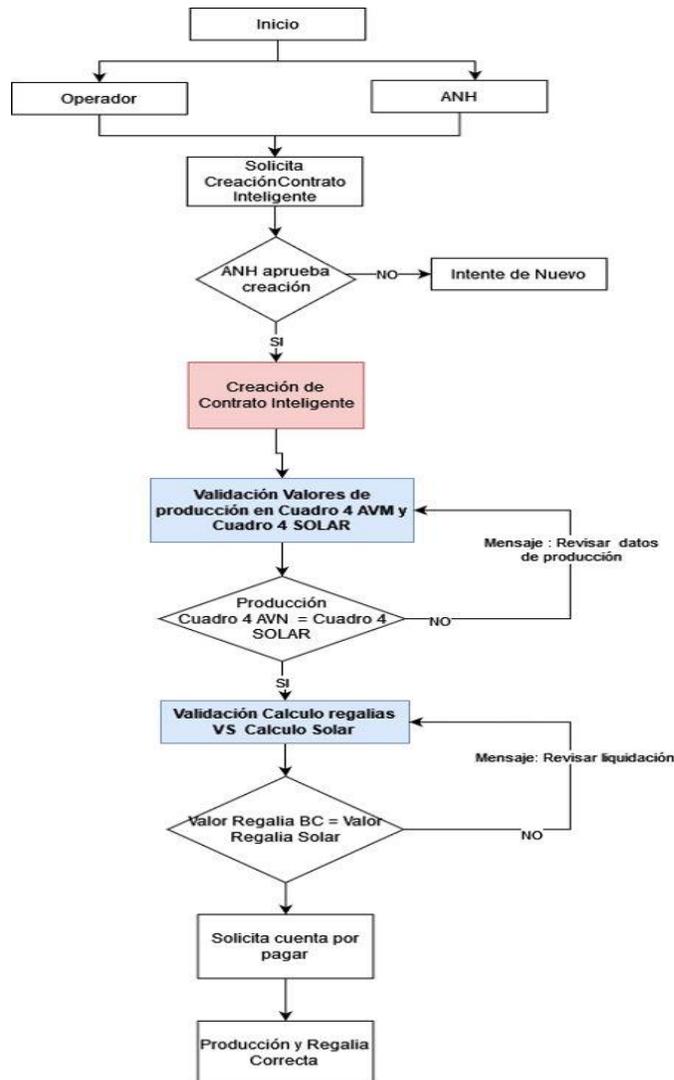
El contrato inteligente propuesto se ejecutará entre la ANH y el Operador del campo en tres (3) pasos:

El primero donde se aceptan las condiciones del contrato entre el operador y la ANH con la **creación del contrato inteligente**.

El segundo donde se comparan los datos de producción mensual gravable, entre el Cuadro 4 reportado por el operador en el SOLAR y el Cuadro 4 generado por el AVM, si los dos valores coinciden se aprueban los **volúmenes de producción**”

En el tercer paso, si el valor de regalías calculado a partir del cuadro 4 del AVM es igual a la liquidada en el SOLAR entonces la liquidación es aprobada y se genera una cuenta de cobro certificada mensual por campo con **los valores en dinero a pagar**.

Figura 22 Flujo Blockchain prueba de concepto

**Paso 1:**

Aceptación de condiciones de Operador por ANH y Creación de contrato Inteligente.

Paso 2

Si valor de producción entregada por SOLAR con Cuadro 4 es igual Cuadro 4 que entrega el sistema AVM entonces:

"Valores de producción aprobados".

Paso 3

Si liquidación calculada con Cuadro 4 del AVM es igual a liquidación realizada por SOLAR entonces:

"Liquidación aprobada".

Estructura de datos

Las Operadoras petroleras y la ANH juegan dos papeles principales en el proceso de distribución de regalías. Se requiere una coordinación adecuada entre ellos para obtener resultados efectivos de la solución. El modelo de sistema propuesto se divide en tres secciones, la primera es una base de datos del que permite almacenar los datos de registro de los operadores la segunda

los datos requeridos por la ANH y la tercera es la cadena que almacena los datos de las transacciones realizadas entre los operadores y la ANH.

Los datos de registro de ambas partes (Operador y ANH) son recopilados por el sitio web y almacenados en las bases de datos. Luego, estos datos van al contrato inteligente para su posterior procesamiento. Seguidamente con la ejecución exitosa del contrato, la información de la transacción pasa a una cadena para su posterior análisis.

A continuación, se presenta los datos de cada Base de datos:

Tabla 8 Estructura datos Operador

TABLA OPERADOR_PETROLEO	
NIT	Número fiscal del operador en Colombia
RAZON SOCIAL	Nombre del Operador
EMAIL	Correo electrónico para las notificaciones
NO. CONTRATO	Nombre contrato firmado con el estado
FECHA INICIO CONTRATO	Fecha que inicia el contrato
FECHA FIN CONTRATO	Fecha que finaliza el contrato
LEY % Regalía	20% Ley 141 de 1994 5% - 25% Ley 619 de 2000 8% - 25% Ley 756 de 2002
APLICA REVERSIÓN	SI APLICA: 12% Adicional
TOTAL_INICIAL_USD	Representa la cantidad de dinero ofrecida al Estado para la perforación. (Derecho económico por uso del subsuelo)
TOTAL_REGALIA_USD	Es el valor Total de la Regalía pagada durante la vigencia del contrato.

Tabla 9 Estructura datos ANH

ANH	
NIT	Numero fiscal de la ANH
EMAIL	Correo electrónico para las notificaciones
NO. CONTRATO	No. de contrato / contrato firmado con el Estado
UBICACIÓN	Ubicación geográfica del CONTRATO otorgado
CAMPO	Nombre del campo (ejemplo: Campo Rubiales)
TOTAL_GANADO_USD	Cantidad ganada por el Estado por cuenta de del No. de contrato

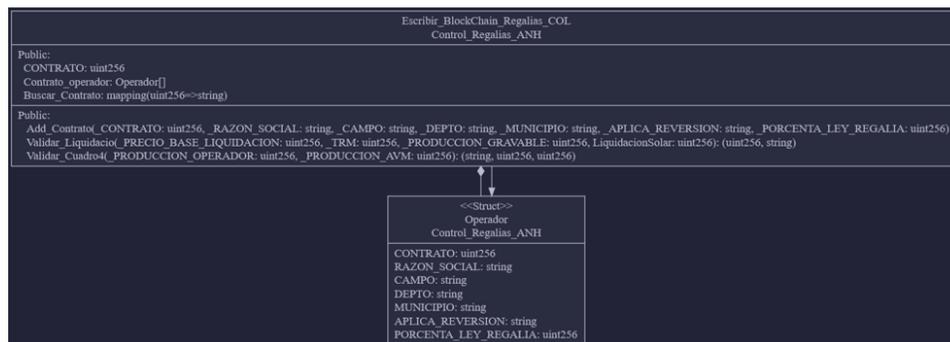
Finalmente considerando esta información se realiza el registro del contrato inteligente, el cual contiene los siguientes datos:

Tabla 10 Estructura datos Contrato Inteligente

ANH	
NO. CONTRATO	Nombre contrato firmado con el estado
RAZON SOCIAL	Nombre del Operador
CAMPO	Nombre del campo (ejemplo: Campo Rubiales)
DEPTO	Departamento de Colombia donde está ubicado
MUNICIPIO	Municipio de Colombia donde está ubicado
	Cantidad ganada por el estado por cuenta de del No. de contrato
TOTAL_GANADO_USD	Cantidad ganada por el estado por cuenta de del No. de contrato

En la Figura 23 Diagrama de Clases en UML - Contrato inteligente Control de Regalías, se presenta continuación el diagrama UML de clases de la estructura del contrato junto con su relación con cada uno de sus métodos (escenarios). Esto muestra la estructura estática del sistema de gestión de contratos inteligentes, es decir, las clases del sistema, sus atributos, métodos de escritura/lectura y relaciones entre ellas.

Figura 23 Diagrama de Clases en UML - Contrato inteligente Control de Regalías



iii. Requerimientos No Funcionales

Partiendo de la guía de referencia de Blockchain desarrollado por MinTIC Colombia (Espinosa, 2020), a continuación, se describen los requerimientos funcionales aplicables al presente proyecto:

Rendimiento: La aplicación puede optimizar el funcionamiento de las consultas de regalías en lo que respecta al tiempo de verificación de transacciones en la cadena de bloques de Ethereum.

Coste: Con la tecnología blockchain se reducen los costes de ejecución del contrato en términos de hora/hombre, sin embargo, se debe considerar que cualquier escritura sobre la cadena de bloques genera un costo dependiendo de la criptomoneda utilizada, esto a diferencia de cualquier consulta del contrato, la cual no tiene un costo asociado.

Extensibilidad: La solución implementada puede ser mejorada en el tiempo atendiendo nuevos requerimientos. Por ejemplo: escribir en el blockchain los resultados de los escenarios 1 y 2 expuestos previamente.

Usabilidad: La solución presentada se desarrolló pensando en facilitar la ejecución en los procesos de validación que realiza la ANH, para lo cual se ha dispuesto de una interfaz web para validar la data necesaria. Para esta prueba de concepto y las mediciones de tiempos de respuesta se ejecutarán haciendo uso de **etherscan**².

iv. Especificar la Interfaz

Las consultas a los contratos se realizarán vía API/REST, lo cual facilitara la comunicación entre los sistemas Solar y AVM.

El endpoint del presente proyecto estar implementado sobre la red de Sepolia:

<https://sepolia.infura.io>

² Etherscan es una para los usuarios de la red Ethereum que desean realizar un seguimiento de las transacciones, examinar contratos inteligentes, obtener estadísticas. <https://learn.bybit.com/es/blockchain/que-etherscan-y-para-que-funciona/>

v. Despliegue de los contratos

Para el despliegue de los contratos en la red ETHEREUM de TESTNET se deben definir obligatoriamente dos soluciones:

Moneda en que se harán los pagos de escritura en el BC
Para nuestro caso se defina SEPOLIAETH

Una billetera (Wallet) de BC para gestionar la Moneda seleccionada previamente :
Para nuestra prueba de concepto se selecciona la solución METAMASK

Lo anterior, junto con la plataforma de desarrollo REMIX, la cual permite desplegar los contratos inteligentes necesarios en la prueba de concepto.

Figura 24 Imagen de Metatask



vi. Ejecutar pruebas

En esta etapa se verificó el comportamiento de la prueba de concepto en blockchain, analizando tiempos de respuesta, consistencia de la información, condiciones para el control de fallos e interacciones con el usuario, logrando cumplir las condiciones establecidas al momento de la planeación de la solución.

Dadas las dificultades presentadas para la obtención de datos reales y después de agotar un derecho de petición presentado a la ANH (Anexo 3 – Respuesta Derecho de petición ANH mayo 2023.), para el presente proyecto se eligen los siguientes Contratos de explotación petrolera y se establece un set de datos real de Cuadros 4 y liquidación en el sistema SOLAR e hipotético para el Cuadro 4 que genera el AVM.

Esta es la muestra de datos que se toma para la prueba de concepto:

Tabla 11 Volumetría datos por Contrato

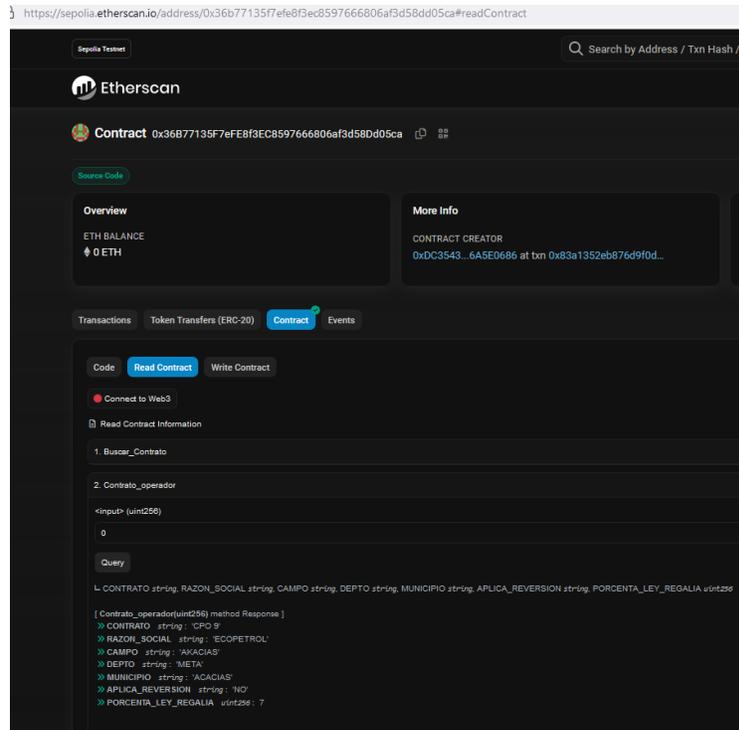
Contrato de Explotación	REPORTES CUADRO 4
APIAY	45
CABIONA	2
CAÑO SUR	2
CARACARA	24
CORCEL	12
CPE-6	2
CPO 11	2
CPO 13	7
CPO 5	5
CPO 9	6
CUBARRAL	44
E&P SABANERO	
METAPETROLEUM	2
GUARROJO	10
GUATIQUIA	12
LLA 58	4
QUIFA	6
RUBIALES	6
VALDIVIA/ALMAGRO IH	4
Total, general	195

Nota: Reportes de producción de los campos del Meta primer trimestre del 2023, descargados de la página Web de la ANH.

Los pasos de la prueba de concepto fueron los siguientes:

1. Creación de 1 Contrato Inteligente en la red de TESTNET.

Figura 25 Consulta en Etherscan del contrato Inteligente registrado



2. Ejecutar los dos escenarios establecidos:

- Escenario 1: Validación Cuadros 4 de SOLAR y AVM
- Escenario 2: Calcular y Validar liquidación de regalía de Solar

Para la prueba de estrés se dio uso a la plataforma LOADSTER (<https://loadster.app>) en donde solo se realizó TEST a la parte de consulta al Blockchain.

Los resultados de los dos escenarios fueron los siguientes a la luz de los indicadores definidos:

KPI 1 - % Desviación de la Producción

Considerando que el Escenario 2 permite establecer las liquidaciones equivocadas por inconsistencias en los datos de producción gravable del Cuadro 4 generado por el AVM y el reportado por los operadores en el SOLAR, para esta muestra se encontraron 34 campos con diferencias lo cual es equivalente a 8007 barriles de producción al **0,03%** del total de producción reportado.

KPI 2 - % Tiempos para el cálculo de la Regalías

- Validación Cuadros 4 de SOLAR y AVM

Figura 26 Tiempo por consulta de Cuadros 4 (Segundos)

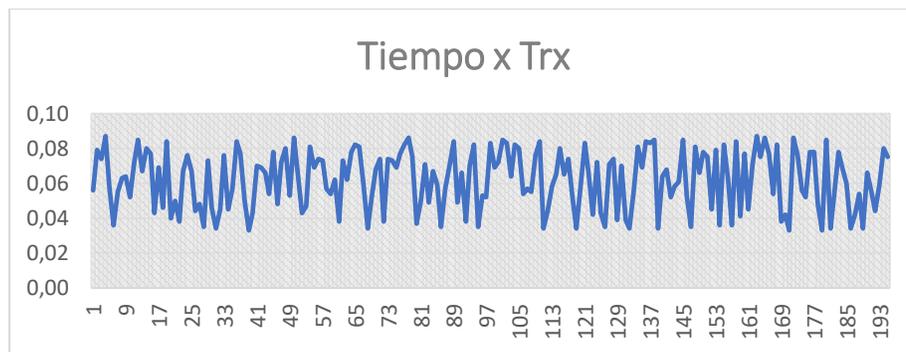


Figura 27 Tiempo total de la ejecución consulta de Cuadros 4 (Segundos)



Como conclusiones de la presente prueba de carga, se puede evidenciar tiempos eficientes de consulta por transacción y acumulado, donde en total la ejecución para el “Escenario 1” fue de 12.08 segundos y en promedio por transacción fue de 0.39 segundos y para el “Escenario 2” en total se tomó 12.7

segundos la ejecución de todas las consultas y con un promedio por transacción de 0.041 segundos.

- **Calcular y Validar liquidación de regalía de Solar**

Figura 28 Tiempo por calculo y comparación regalía (Segundos)

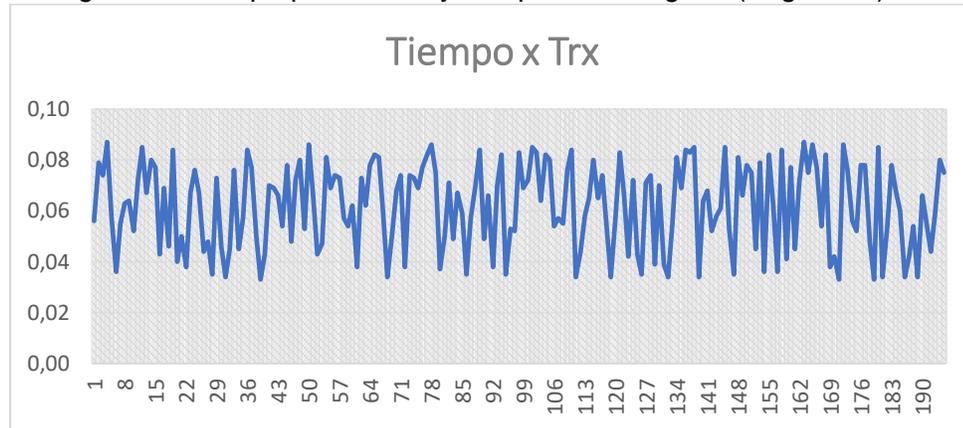


Figura 29 Tiempo ejecución de cálculo y validación regalía (Segundos)



Esto puede ser concluyente si se quisieran optimizar los tiempos de validación de los cuadros 4 de Solar y AVM (escenario 1) y una eventual certificación del cálculo de liquidación que ejecuta hoy días el sistema Solar (Escenario 2).

Partiendo de la premisa en la cual un analista de la ANH toma 1 horas realizando la validación de los dos cuadros 4 (Solar y AVM) e incluyendo el tiempo que puede tomar la liquidación de 195 Campos en el Sistema SOLAR, en la presente prueba se concluye que se reduce el tiempo de ambos procesos en casi un 150%.

KPI 3 - % Disminución en las reclamaciones

Partiendo de lo presentado en el en la fase preliminar del Objetivo 1 - Reclamaciones y Reliquidaciones sobre cálculo de Regalías, donde una reclamación y reliquidación puede tomar entre 6 mes y 2 años en el modelo actual, vemos que con esta propuesta de solución es posible la reducción en el número de reclamaciones, considerando que se elimina la intervención humana para la conciliación de los datos de producción, siendo remplazada por las consultas / cálculos sobre el contrato inteligente.

Prueba de stress:

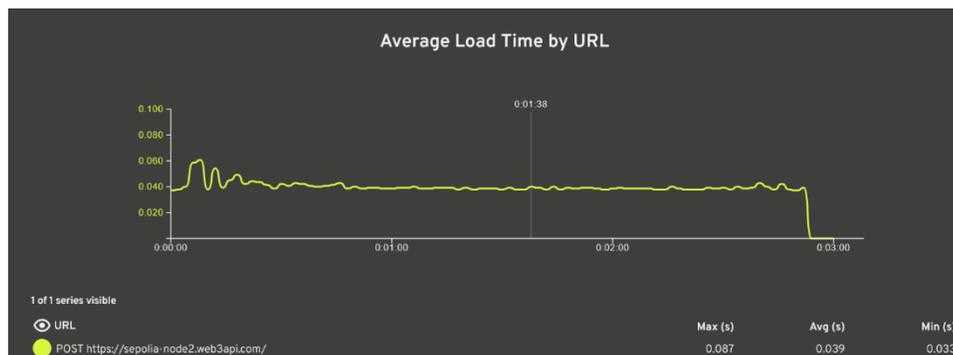
Consultas de producción de los cuadros 4 en BC

Con el fin de validar la capacidad de carga de un Contrato en BC, se ejecutó una prueba de carga al BC, en lo correspondiente al Json de consulta del escenario 1: Comparación de Producción de Cuadro 4 Solar y AVM.

En la siguiente Figura 30 Prueba de stress al BC, se expone el escenario completo, donde en total se ejecutaron 1488 consultas al BC durante 3 minutos con 25 robots concurrentes.

Figura 30 Prueba de stress al BC

DURATION	CONCURRENT BOTS	ITERATIONS	HITS	ERRORS
0:03:07	25 / 25	1488	1488	0
AVG RESPONSE TIME	P50 RESPONSE TIME	P90 RESPONSE TIME	DOWNLOADED	UPLOADED
0.039s	0.038s	0.045s	1.1 MB	717.8 KB



Con esta prueba se refuerza la idea de capacidad de cómputo que puede tener la red de bloques, lo que significa una excelente oportunidad para minimizar los tiempos de respuesta en las validaciones que hoy en día ejecuta un analista de la ANH.

6. CONCLUSIONES

- La arquitectura empresarial se desarrolló siguiendo la metodología TOGAF, partiendo de un diagnóstico de los procesos existentes y el análisis de datos reales sobre reclamaciones por inconsistencias en las liquidaciones de regalías. A través del Business Motivation Model-BMM, se representaron los estados actuales y objetivos para proponer mejoras en la arquitectura de negocio, sistemas de información y tecnología.
- En los procesos de control volumétrico y liquidación de regalías implementados por la ANH actualmente, se encontraron los siguientes puntos de dolor: a) reportes en archivos Excel abiertos y sin seguridad, susceptibles a la alteración y error humano, b) conciliación manual de reportes, c) inconsistencias de datos, d) liquidaciones erradas, e) constantes reclamaciones, f) reliquidaciones y g) tiempos de respuestas elevados por parte de la ANH. Todos estos puntos se plantean superar a través de un modelo de información basado en una arquitectura de microservicios y el uso blockchain - BC, para lo cual se propuso una arquitectura final que permita la adecuada liquidación de regalías corrigiendo estas falencias.
- La fase de visión de arquitectura fue fundamental para establecer una representación general de la arquitectura objetivo mediante el Business Motivation Model-BMM. Esta representación proporcionó una base sólida para analizar los estados actuales (AS IS) y proponer los estados objetivos (TO BE) en las diferentes fases de arquitectura, incluyendo la arquitectura de negocio, de sistemas de información y tecnología.
- La implementación de un modelo para transacciones de regalías mediante Blockchain ofrece ventajas significativas en términos de confiabilidad, rapidez, seguridad y transparencia de datos en comparación con los esquemas tradicionales de fiscalización y liquidación de regalías en el país.
- La prueba de concepto del proyecto demostró la viabilidad de dos requerimientos funcionales clave: la implementación de un conciliador automático de producción en Blockchain y un servicio de certificación de valor a pagar de regalías mensuales por campo.
- Durante la prueba de concepto, se validaron exitosamente tres acciones principales en la red de Blockchain TESNET de Ethereum: creación del contrato, validación del cuadro 4 de dos fuentes y confirmación de la liquidación. Los resultados mostraron tiempos eficientes de consulta por transacción y acumulada, con una mejora considerable estimada en un 141% en comparación

con los procesos tradicionales. Esto confirma la eficacia de la propuesta de utilizar Blockchain para transacciones de regalías en el sector.

- Con el presente proyecto se propuso un modelo para optimizar los procesos de cálculo de regalías derivados del petróleo en Colombia, lo que contribuiría si es aplicado, a reducir la incertidumbre y aumentar la confianza en los ingresos del país por la explotación de sus campos petroleros.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El prototipo actual cumple con las funcionalidades básicas que fueron establecidas en los objetivos del documento, sin embargo, faltan por implementar varios escenarios funcionales que podrían generar un mayor impacto, por ejemplo:

- Hacer de la liquidación un contrato inteligente que deje constancia del valor a pagar después de contrastarlo por lo calculado por SOLAR.
- Generación de un contrato inteligente en el Blockchain para certificar los datos entregados y cargados en SOLAR por parte del operador.
- Entrega de interfaz WEB amigable para consultas.
- Implementar un prototipo de microservicios integrando el sistema de medición de un operador válido.

Por otro lado, con respecto a la validación de las pruebas de cargas expuestas, se puede evidenciar que existen algunas restricciones de información real, sin embargo, con el escenario construido de manera hipotética se logra recrear un escenario cercano a lo real.

Para un próximo ejercicio sería importante incluir la variable de precio base de liquidación dentro de la liquidación del contrato inteligente, para lo cual la ANH debe contrastar los costos de transporte, comercialización, administrativos y tener en cuenta la calidad del crudo.

Otra recomendación de trabajo futuro sería realizar la evaluación económica y financiera de la implementación de contratos inteligentes basados en blockchain y el reporte de los datos a través de microservicios, así como la estrategia de apropiación de la tecnología por parte de la ANH y los operadores.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agius, A. (2021). *How to Create an Effective Customer Journey Map*.
<https://blog.hubspot.com/service/customer-journey-map>
- Akoum, M., & Mahjoub, A. (2013). A unified framework for implementing business intelligence, real-time operational intelligence, and big data analytics for upstream oil industry operators. *Society of Petroleum Engineers - SPE Intelligent Energy International 2013: Realising the Full Asset Value*, 230–244.
<https://doi.org/10.2118/167410-ms>
- ANH. (2014). *Instructivo para el aseguramiento del dato de producción en el sistema de información de la ANH*. Informe Diario de Producción IDP-AVM.
- Presidencia de la República de Colombia - Decreto 714, (2012).
- Contraloría General de la República. (2014). *Informe de auditoría de rendimiento sobre la integridad, calidad y transparencia de los procesos de medición de la producción de hidrocarburos y de cálculo y pago de las participaciones gubernamentales correspondientes en Colombia*.
- Contraloría general de la República de Colombia. (2013). *La Fiscalización de hidrocarburos líquidos en Colombia etapas de explotación y producción*. Contraloría general de la República de Colombia.
- Contraloría general de la República de Colombia. (2020). *USAR - Unidad de Seguimiento y Auditoría de Regalías*.
- Contraloría general de la República de Colombia. (2021). Regalías, la nueva ley y sus beneficios. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 18.
<https://www.economiacolombiana.co/revista/nueva-ley-de-regalias-en-colombia-1092>
- Departamento Nacional de Planeación DNP. (2021). *Sistema General de Regalías - Distribución de recursos*. 39.
- Dhyey Mehta a, Sudeep Tanwar, Umesh Bodkhe, Arpit Shukla Kumar, N. (2021). Blockchain-based royalty contract transactions scheme for Industry 4.0 supply-chain management. *Www.Elsevier.Com*.
- Resolución Ministerio de Minas y Energía de Colombia, No 41251, (2016).
- Espinosa, S. (2020). *Guía de Referencia para la adopción e implementación de proyectos con tecnología blockchain para el Estado colombiano*.
- Gartner. (2019). *Top Trends From Gartner Hype Cycle for Digital Government Technology*. <https://blogs.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-from-gartner-hype-cycle-for-digital-government-technology-2019>
- Gelvis Vega, J. E., Roa Prada, S., Cáceres Becerra, C. I., & Mantilla Hernandez, H. D. (2021). Propuesta de Arquitectura Empresarial para el grupo de Perforación de ECOPETROL CP usando el marco de referencia TOGAF. *Revista Politécnica*, 17, 22–33.
- MinTIC. (2020). *Guía con lineamientos generales para el uso de tecnologías emergentes*.
- Mohammadpoor, M., & Torabi, F. (2020). Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend. In *Petroleum* (Vol. 6, Issue 4, pp. 322–328).
<https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001>

Anexo 1 – Muestra de Cuadro 4 entregado al sistema SOLAR de la ANH

Original: Subdirección de Hidrocarburo.
c.c.: Oficina de Zona
Operador

CUADRO No 4 Pag.

1/1

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE HIDROCARBUROS
SUBDIRECCIÓN DE HIDROCARBUROS

RESUMEN MENSUAL SOBRE PRODUCCIÓN Y MOVIMIENTO DE PETRÓLEO
Cuadro 4
ECOPETROL S.A. - VICEPRESIDENCIA REGIONAL ANDINA ORIENTE - GERENCIA ODP ORIENTE

Mes: Octubre de 2022

Contrato: CONVENIO DE EXPLOTACIÓN RUBIALES Campo: RUBIALES Modalidad de Explotación: Comercial

Batería: CPF-2 RUBIALES, CPF RUBIALES Sitio de Entrega: CPF-2 RUBIALES, CPF RUBIALES

Existencia inicial: (1)			277.054,30
Actividad	Básica	Incremental	Total
Producción: (2)	462.607,81	2.758.674,21	3.221.282,02
Municipio	Código DANE		
PUERTO GAITÁN	50568	462.607,81	2.758.674,21
Consumo: (3)**	12.728,76	75.905,55	88.634,31
Municipio	Código DANE		
PUERTO GAITÁN	50568	12.728,76	75.905,55
Pérdidas gravables: (4)**	0,00	0,00	0,00
Municipio	Código DANE		
Pérdidas no gravables:	0,00	0,00	0,00
Municipio	Código DANE		
Producción gravable: (5) = (2)-(3)-(4)**	449.879,05	2.682.768,66	3.132.647,71
Municipio	Código DANE		
PUERTO GAITÁN	50568	449.879,05	2.682.768,66
Entregas:(6)***			3.147.796,52
Volumen muerto en vasijas:			227.686,12
Volumen muerto en líneas:			15.407,65
Existencia final: (7)			261.905,49
Balance total:			0,00

Características del crudo
Gravedad (Grados API): 13,0 Contenido de S: 1,18 % SW: 0,356

Héctor Jaime Agudelo Rincón - (Tp No. 5287 CPIP)
Representante del Operador

Oveimar Santamaría Torres - (Tp No. 7508 CPIP)
Ingeniero de Fiscalización Zona 9

OBSERVACIONES :

• Se emplearon 8018 Bbls netos de aceite como combustible para las calderas y los quemadores de los tratadores de los CPFs y 80616 Bbls netos de aceite como combustible para el consumo de las térmicas.

• En el mes de octubre de 2022 entraron en producción los nuevos pozos infill RB-1843H, RB-1844H, RB-2019HST, RB-1846H, RB-2028H y RB-2029H.

Adicionalmente, ingresaron los nuevos pozos inyectoros: RB-DW54H y RB-DW55H.

• El volumen asociado al llenado de las líneas de los pozos nuevos conectados a troncal es de 7,16 BO.

• El volumen muerto total acumulado en líneas y vasijas a la fecha es de 243094 Bbls de aceite.

Anexo 2 – Respuesta 1er Derecho de petición ANH marzo 2022



Al contestar cite Radicado 20225210769641 Id: 1245400
 Folios: 2 Fecha: 2022-03-30 08:43:58
 Anexos: 1 ARCHIVOS INFORMÁTICOS (PDF, WORD, EXCEL, PPT, ZIP)
 Remitente: GESTION DE REGALIAS Y DERECHOS ECONOMICOS
 Destinatario: JOSE RAUL RODRIGUEZ FLOREZ

Bogotá D.C.

Señor
José Raúl Rodríguez Florez
 Correo: joseraul_07@hotmail.com
 Ciudad

Asunto: Solicitud de información con fines académicos. Radicado ANH 20226410656852 Id: 1198362 del 2 de marzo de 2022.

Cordial saludo:

Se ha recibido comunicación referida en el asunto, en la que solicita información con fines académicos, respecto de reclamaciones recibidas relacionadas con las liquidaciones de regalías por la explotación de hidrocarburos y las reliquidaciones efectuadas por parte de la ANH.

Al respecto es pertinente comentar que la Agencia Nacional de Hidrocarburos mantiene, desde su creación según Decreto 1760 de 2003, facultades para recaudar las regalías y compensaciones monetarias que correspondan al Estado por la explotación de hidrocarburos y respecto del giro de las asignaciones directas a las entidades con derecho a ellas. Mantuvo estas facultades respecto de las regalías causadas hasta el 31 de diciembre de 2011, que corresponden al régimen anterior al Sistema General de Regalías, SGR; facultad que decae con las disposiciones de la Ley 2056 de 2020.

A partir de la modificación del artículo 360 y 361 de la Constitución Política mediante Acto Legislativo 05 de 2011 que crea el SGR, le fueron asignadas nuevas competencias a la Agencia Nacional de Hidrocarburos, de conformidad con el numeral 11 del artículo 4 del Decreto 4137 del 2011 y el numeral 3 del artículo 17 del Decreto 714 de 2012, en cabeza de la Vicepresidencia de Operaciones, Regalías y Participaciones se encuentra facultada para *“Recaudar, liquidar y transferir las regalías y compensaciones monetarias a favor de la nación por la explotación de hidrocarburos”* y cumple con la función que es propia a partir de 2021 de *“determinar las asignaciones directas entre los beneficiarios a los que se refiere el inciso segundo del artículo 361 de la Constitución Política, en concordancia con los criterios señalados por la ley”*.

Es de precisar que el SGR, que se encontraba regulado por la Ley 1530 de 2012; derogada por la Ley 2056 de 2020 que, modificó sustancialmente los porcentajes de distribución de las participaciones en regalías (Asignaciones Directas) a favor de los entes beneficiarios, las facultades de las entidades del sector y estableció a partir de su vigencia un manejo presupuestal especial para la administración y ejecución de los recursos de regalías, el cual no existía antes de la reforma.

Avenida Calle 26 N° 59 - 65 Piso 2
 Edificio de la Cámara Colombiana de la Infraestructura
 Bogotá D.C. - Colombia. Código postal: 111321
 Teléfono: +57 (1) 593 17 17 - www.anh.gov.co





Al contestar cite Radicado 20225210769641 Id: 1245400
 Folios: 2 Fecha: 2022-03-30 08:43:58
 Anexos: 1 ARCHIVOS INFORMÁTICOS (PDF, WORD, EXCEL, PPT, ZIP)
 Remitente: GESTION DE REGALIAS Y DERECHOS ECONOMICOS
 Destinatario: JOSE RAUL RODRIGUEZ FLOREZ

En términos de estas competencias se dará respuesta a su solicitud en el mismo orden por usted referido.

1. Relación de las reclamaciones o solicitudes por parte de los entes territoriales con relación a la liquidación, pagos y giros de regalías, discriminada por año, fecha, motivo de la reclamación y entidad territorial.

Respuesta:

Adjunto encontrará el registro oficial de las reclamaciones efectuadas con relación a la liquidación y giro de regalías en el periodo 2016-2022, con la mejor información disponible.

2. Relación de reliquidaciones de regalías ya sea por parte de la ANH o por solicitud del operador discriminadas por año, mes, contrato, campo, operador, motivo/variable de la reliquidación, producción inicial y monto liquidado, producción y monto definitivo.

Respuesta:

Se adjunta cuadro de control de las reliquidaciones de regalías efectuadas a la fecha, con la mejor información disponible.

Cordialmente,

CARLOS DIEGO MARTÍNEZ MORALES
 Gerente de Regalías y Derechos Económicos
 Vicepresidencia de Operaciones, Regalías y Participaciones

Anexos: Archivos informáticos
 Copias: N/A

Aprobó: N/A
 Revisó: N/A

Proyectó: Consuelo Bejarano A. - Experto G3 Grado 06. VORP-GRDE/Componente Técnico

Avenida Calle 26 N° 59 - 65 Piso 2
 Edificio de la Cámara Colombiana de la Infraestructura
 Bogotá D.C. - Colombia. Código postal: 111321
 Teléfono: +57 (1) 593 17 17 - www.anh.gov.co



Anexo 3 – Respuesta 2do Derecho de petición ANH 4 mayo 2023



Bogotá D.C., 16 de mayo de 2023

Señor
JOSÉ RAÚL RODRÍGUEZ FLÓREZ
 Correo electrónico: joserofl@unisabana.edu.co; joseraul_07@hotmail.com
 Ciudad

**Asunto: Derecho de petición-Solicitud de información con fines académicos
 Radicado ANH 20236410319862 Id: 1435432 del 4 de mayo de 2023**

Respetado Señor Rodríguez:

Hemos recibido su comunicación referida en el asunto en la que solicita "(...) *Para cualquier campo del país que haya tenido reliquidación de regalías en el primer trimestre de 2023* (...) " información detallada y documentación soporte.

Sobre el particular es necesario informarle que, en el primer trimestre de 2023, se realizan las liquidaciones provisionales de enero, febrero y marzo de 2023 y la liquidación definitiva de cuarto trimestre de 2022; esto último, para calcular el ajuste de ese periodo.

Posterior a ello, se elaboran las resoluciones trimestrales de carácter particular con las liquidaciones definitivas del cuarto trimestre de 2022, para que los operadores puedan interponer los recursos de reposición y, una vez resueltos en caso de que se haya repuesto el recurso, se procede a adelantar la reliquidación el periodo correspondiente.

Adicionalmente, el ajuste al primer trimestre de 2023 de acuerdo con la liquidación definitiva de enero, febrero y marzo de 2023, se realizarán en el mes de junio de 2023. En ese sentido, aún no se han cumplido, para el año 2023, los plazos para generar una reliquidación y por lo tanto no se puede atender su solicitud.

Cordialmente,

Jorge Alirio Ortiz Tovar
 Vicepresidente de Operaciones, Regalías y Participaciones
 Agencia Nacional de Hidrocarburos
 Anexos: N/A
 Copias: N/A
 N/A

Avenida Calle 26 No. 59 - 65 Piso 2
 Edificio de la Cámara Colombiana de la Infraestructura
 Bogotá D.C. - Colombia. Código postal: 111321
 Teléfono: +57 (60 1) 593 17 17 - www.anh.gov.co

ANH-GDO-FR-05 Versión No. 2



MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Anexo 4 – Respuesta 3er Derecho de petición ANH 16 mayo 2023



Al contestar cite Radicado 20235010314721 Id: 1453574
 Folios: 3 Fecha: 2023-06-01 21:18:07
 Anexos: 1 ARCHIVOS INFORMÁTICOS (PDF, WORD, EXCEL, PPT, ZIP), 2 FOLIOS PAPEL
 Remitente: VICEPRESIDENCIA DE OPERACIONES, REGALIAS Y PARTICIPACIONES
 Destinatario: JOSE RAUL RODRIGUEZ FLOREZ

Bogotá D.C., 1 de junio de 2023

Señor

José Raúl Rodríguez Flórez

Correo electrónico: joseroft@unisabana.edu.co; joseraul_07@hotmail.com

Ciudad

**Asunto: Derecho de petición-Solicitud de información con fines académicos
 Radicado ANH 20236410335702 Id: 1439759 del 17 de mayo de 2023.**

Respetado Señor Rodríguez:

Conforme lo señalado en el título II de la Ley 1437 de 2011 "Por el cual se expide el Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo", sustituido por la Ley 1755 de 2015, en concordancia con lo establecido en el Decreto 491 de 2020, que regula el derecho de petición consagrado en el artículo 23 de la Constitución Política, la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH procede a emitir respuesta referida en el asunto en la que solicita "(...) Para cualquier campo del país que haya tenido reliquidación de regalías durante cualquier trimestre de 2022 o el último que tengan disponible (...)" información detallada y documentación soporte.

Sobre el particular se remite la información solicitada para el campo Andaluz del contrato JAGUEYES 3432-B para la cual se generó reliquidación para el segundo trimestre de 2022, adjuntando y dando claridad a cada información:

1. IDPs reportados durante el trimestre por dicho campo.

Rta: El proceso de reporte de IDP y gestión de información que se adelanta en la plataforma AVM tiene un carácter de validación de la dinámica volumétrica de activos y no de información oficial de producción gravable o relación para el cálculo de regalías. La base de cálculo de volumen de petróleo para liquidación de regalías oficial es la que se encuentra diligenciada en el cuadro 4 (Resumen Mensual sobre producción y movimiento de petróleo) declarada de forma mensual por parte de la compañía operadora a través del sistema oficial de liquidación y administración de regalías y debidamente fiscalizada por el profesional a cargo de la labor de acuerdo con el literal b del Artículo 60 de la resolución 181495 de 2009, modificada por el Artículo 9 de la Resolución 40048 del 2015 y en concordancia con los numerales 2 y 5, literal B, Artículo 7, Título II, de la ley 2056 de 2020.

2. Cuadro 4 generado por AVM por cada mes para dicho campo.

Rta: Se adjunta a la presente comunicación cuadro 4 correspondiente al mes de junio de 2022 para el campo Andaluz del contrato JAGUEYES 3432-B.

3. Cuadro 4 reportados por el operador en Solar por cada mes para dicho campo.

Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH
 Avenida Calle 26 #59 - 65 Piso 2. Edificio Cámara Colombiana de la Infraestructura
 Código Postal: 111321. Bogotá D.C., Colombia
 Conmutador: +57 (601) 593 1717
 Línea Gratuita: 01 8000 953000
 ANH-GDO-FR-05 Versión N° 3



Al contactar este Medico 20225010014-01 M. 14335/4
 Folios: 3 Folio: 2023-09-01 21:18:07
 Anexo: 1 ARCHIVOS INFORMÁTICOS (PDF, WORD, EXCEL, PPT, ZIP) 2
 FOLIOS IMPR.
 Remite: VICEPRESIDENCIA DE OPERACIONES, REGALIAS Y
 PARTICIPACIONES
 Destinatar: JOSE NAUL RODRIGUEZ FLOREZ

Rta: Se adjunta a la presente comunicación cuadro 4 correspondiente al mes de junio de 2022 para el campo Andaluz del contrato JAGUEYES 3432-B.

4. Reporte del solar de liquidación de regalías para dicho campo en el trimestre que incluya el volumen de producción, precio base de liquidación, % regalías y TRM.

Rta: Se remite reporte de SOLAR para el departamento de Casanare en el mes de junio de 2022, en el cual se relacionan las variables de liquidación. Así mismo, se adjunta Resolución No. 1170 del 2022 para la compañía TOC ENERGÍA SUCURSAL COLOMBIA sobre la liquidación definitiva del segundo trimestre de 2022.

5. Cuentas de cobro mensuales generadas para dicho campo durante el trimestre.

Rta. Se anexa cuenta de cobro del mes de julio de 2022 en la cual se incluye la información definitiva del segundo trimestre de 2022, para la compañía TOC ENERGÍA SUCURSAL COLOMBIA.

6. Solicitud de reliquidación

Rta. Se anexa Recurso de Reposición en contra la Resolución No. 1170 del 22 de septiembre de 2022 interpuesto por parte de la compañía TOC ENERGÍA SUCURSAL COLOMBIA.

7. Liquidación definitiva

Rta. Se anexa respuesta al Recurso de Reposición en contra la Resolución No. 1170 del 22 de septiembre de 2022 por parte de la compañía TOC ENERGÍA SUCURSAL COLOMBIA en la que se detalla el ajuste realizado.

Cordialmente,

Jorge Allirio Ortiz Tovar
 Vicepresidente de Operaciones, Regalías y Participaciones
 Agencia Nacional de Hidrocarburos

Anteced: Archivo Magnético / Folio

Copias: NA
 NA

Aprobó: Carlos Diego Martínez Morales, Gerente de Regalías y Derechos Económicos, Numeral 4 al 7

Revisó: Consuelo Bojarrán Almonacid, Experto G3 Grado 06/ Competencia Técnica, Numeral 4 al 7

Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH
 Avenida Calle 28 #58 - 85 Piso 2, Edificio Cámara Colombiana de la Infraestructura
 Código Postal: 111321, Bogotá D.C., Colombia
 Consultador: +57 (601) 593 1717
 Línea Gratuita: 01 8000 953000
 ANH-GDD-PR-05 Versión N° 3